

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ НАЗЕМНИХ СПОРУД І АЕРОДРОМІВ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускної кафедри
к.ф.-м. н., Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ
« _____ » _____ 2023 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.080101 «ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЯ ТА
ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

**Тема: «Дослідження взаємозв'язку між земельним покривом
та температурою поверхні землі на основі супутникових знімків»**

Виконавець: студент ГС-412Б групи ФНСА Роботюк Максим Андрійович

Керівник: к.т.н., доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою

Гебрин-Байди Лілія Василівна

Нормоконтролер:

Стецюк М. П.

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ НАЗЕМНИХ СПОРУД І АЕРОДРОМІВ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ
Напря́м 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

к.ф.-м. н., Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Работюк Максим Андрійович

1. Тема дипломної роботи: «Дослідження взаємозв'язку між земельним покривом та температурою поверхні землі на основі супутникових знімків» затверджена наказом ректора від 10.05.2023р №677/ст.
2. Термін виконання роботи: з 29.05.2023 р. по 25.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: супутникові знімки місії Modis, Landsat 5 TM, 8 OLI, Sentinel-1, Sentinel-2, продукти з Google Earth Engine, статистична інформація про температуру повітря, опади, структуру земельного фонду Харківської області.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз підходів щодо визначення температури поверхні землі з використанням аерокосмічних методів, класифікація земельного покриву на основі спектральних характеристик поверхні, дослідження фактору використання космічних знімків для вивчення зв'язку між температурою поверхні землі та трансформацією земельного покриву.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:
Дипломна робота включає 65 сторінок тексту, 18 рисунків, 2 таблиці та 47 використаних джерел.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Отримання завдання на дипломну роботу	29.05.2023 р.	
2.	Пошук та аналіз літературних джерел по темі дипломної роботи	05.03.2023 р. – 19.03.2023 р.	
3.	Написання вступу та 1 розділу дипломної роботи	19.03.2023 р. – 26.03.2023 р.	
4.	Написання 2 та 3 розділів дипломної роботи	08.04.2023 р. – 14.05.2023 р.	
5.	Створення та оформлення графічного матеріалу	14.05.2023 р. – 13.06.2023 р.	
6.	Термін проектування	29.05.2023 р. – 26.06.2023 р.	
7.	Підготовка роздаткового матеріалу та презентації на захист дипломної роботи	13.06.2023 р. – 20.06.2023 р.	
8.	Захист дипломної роботи	21.06.2023 р. – 25.06.2023 р.	

7. Дата видачі завдання: 05 березня 2023 р.

Керівник дипломної роботи _____ к.т.н., доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою Гебрин-Байди Л.В.

Завдання прийняв до виконання Работюк Максим Андрійович

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Дослідження взаємозв'язку між земельним покривом та температурою поверхні землі на основі супутникових знімків»: 65 сторінок тексту, 18 рисунків, 47 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву.

Предмет дослідження - використання аерокосмічних методів, а саме космічних зображень та геоінформаційних технологій для визначення взаємозв'язку між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву на прикладі Харківської області.

Мета дипломної роботи – дослідити взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву з використанням спектральних характеристик вилучених з космічних зображень.

Методи дослідження – картографічний, системний аналіз, кластерний аналіз, апарат вегетаційних індексів.

Результати бакалаврської роботи рекомендується використовувати під час проведення наукових досліджень та в практичній діяльності спеціалістів з обробки космічних зображень та дистанційного зондування Землі.

АЕРОКОСМІЧНІ МЕТОДИ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ГІТ), ПОВЕРХНЕВА ТЕМПЕРАТУРА ЗЕМЛІ, ВЕГЕТАЦІЙНІ ІНДЕКСИ, MODIS, LANDSAT, SENTINEL 2

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕМЛІ (LST) Й ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ	10
1.1. Фізичні основи визначення поверхневої температури землі (LST) й земельного покриву	10
1.2. Аналіз основних супутникових систем для визначення поверхневої температури землі (LST) й земного покриву	15
1.3. Методи обробки супутникових зображень для визначення поверхневої температури землі (LST) й земного покриву	20
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	26
2.1. Фізико-географічне районування території дослідження	26
2.2. Дослідження просторово-часових змін території внаслідок урбанізації на основі статистичної інформації	31
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОВЕРХНЕВОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ЗЕМЛІ (LST) ТА ЗМІНАМИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	36
3.1. Обчислення температури поверхні землі (LST) з використанням продукту Modis and Landsat в середовищі Google Earth Engine	36
3.2. Встановлення взаємозв'язку між поверхневою температурою землі (LST) та типами земельного покриву на основі NDVI	51
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59
ДОДАТКИ	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ДЗЗ – дистанційне зондування землі

ГІС – геоінформаційні системи

ГІТ – геоінформаційні технології

GEE – Google Earth Engine

КСЯ – коефіцієнт спектральної яскравості

LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) – поверхнева температура землі

Urban Heat Island (UHI) - міський тепловий острів

Radiative transfer equation (RTE) - рівняння переносу випромінювання

Land Use\Land Cover (LULC) – землекористування та земельний покрив

Thermal band – тепловий канал

NIR (Near Infrared) – ближня інфрачервона ділянка спектра

SWIR (Short-wave infrared) – коротко-хвильова ділянка спектра

SR (Surface reflectance) – значення коефіцієнта відбиття, приведені до земної поверхні (з урахуванням атмосфери)

BI – вегетаційний індекс

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований диференціальний вегетаційний індекс

ВСТУП

Актуальність теми. Зміна клімату є одним із найнебезпечніших екологічних аспектів, що впливає на екосистемні послуги, стійкість навколишнього середовища та повсякденне життя. Зміни у землекористуванні та ґрунтовому покриві (Land Use Land Cover - LULC) посилюють зміну клімату, зменшуючи біорізноманіття та створюючи наслідки міського теплового острова (Urban Heat Island - UHI) у містах через підвищення температури поверхні землі (Land Surface Temperature - LST). Температура поверхні землі (LST) є відображенням потоку енергії у взаємодії між поверхнею суші та атмосферою, а також між поверхнею суші та біосферою. Зміни в LULC і LST вважаються одними з найпоширеніших тем для вивчення з використанням методів дистанційного зондування землі (ДЗЗ). Дослідження змін LULC та LST допомагають оцінити екологічне здоров'я та життєздатність міст. Всесвітня урбанізація стала рушійною силою екологічних, соціально-економічних і демографічних перетворень за останні кілька десятиліть. В результаті урбанізації такі категорії LULC, як зелений покрив, водно-болотні угіддя, водойми та відкриті поля, зазнають швидких трансформацій. Неконтрольоване швидке розширення міст і трансформація LULC потенційно можуть змінити гідрологічну, термодинамічну та радіаційну активність земної поверхні, тим самим посилюючи вплив зміни клімату та теплових хвиль. Неконтрольована зміна LULC через розширення забудованих територій шляхом витіснення зеленого покриву, призводить до погіршення навколишнього середовища. Швидка урбанізація, а саме створення штучних елементів поверхні (споруди, дороги та заводи) призводить до масивного приросту LST.

Теплове інфрачервоне дистанційне зондування широко використовується для оцінки LST та UHI. Продукти даних Modis, Aster and Landsat забезпечили спостереження поверхні землі з середньою роздільною

здатністю для довгострокового моніторингу LST та характеристик ґрунтового покриву.

Зауважимо, що дипломна робота має на меті також дослідити зміни земельного покриву, що відбулися на території Харківської області до початку війни та під час. Проаналізувати взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву в період процвітаючої урбанізації на території Харківської області (2005-2013 роки) та під час військових дій (2014-2022 роки). Проте ці фактори не є основними, а носять лише гіпотетичний характер.

Мета дипломної роботи – дослідити взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву з використанням спектральних характеристик вилучених з космічних зображень.

Відповідно до мети були сформульовані наступні завдання:

- проаналізувати сучасні методи визначення поверхневої температури землі на основі космічних зображень;
- дослідити доступні космічні зображення для картографування поверхневої температури та земельного покриву;
- отримати та попередньо опрацювати космічні зображення Modis and Landsat;
- обчислити поверхневу температуру поверхні землі з використанням продукту Modis and Landsat в середовищі Google Earth Engine;
- обґрунтувати вибір вегетаційних індексів та побудувати NDVI індекс;
- встановити взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву для території Харківської області.

Об'єкт дослідження – взаємозв'язок між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву.

Предмет дослідження - використання аерокосмічних методів, а саме космічних зображень та геоінформаційних технологій для визначення взаємозв'язку між поверхневою температурою землі та змінами земельного покриву на прикладі Харківської області.

Методи дослідження – картографічний, системний аналіз, кластерний аналіз, апарат вегетаційних індексів, математично-статистичні методи.

Практичне значення отриманих результатів Результати бакалаврської роботи рекомендується використовувати під час проведення наукових досліджень та в практичній діяльності спеціалістів з обробки космічних зображень та дистанційного зондування Землі, а також для дослідницьких робіт в сфері екології.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕМЛІ (LST) Й ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ

1.1. Фізичні основи визначення поверхневої температури землі (LST) й земельного покриття.

Як пряма рушійна сила в обміні довгохвильовим випромінюванням і турбулентними тепловими потоками на межі поверхня–атмосфера, температура поверхні землі (LST) є одним із найважливіших параметрів у фізичних процесах поверхневого енергетичного та водного балансу у локальному та глобальному масштабах [1,2,3]. LST є важливим параметром, пов'язаним з поверхневою енергією та водним балансом. Знання LST надає інформацію про часові та просторові варіації рівноважного стану поверхні та має фундаментальне значення для багатьох застосувань [4,5]. LST широко використовується в різних галузях, включаючи випаровування, зміну клімату, гідрологічний цикл, моніторинг рослинності, міський клімат і дослідження навколишнього середовища (1,6,7) і був визнаний одним із високопріоритетних параметрів International Geosphere and Biosphere Program (IGBP). Через сильну неоднорідність характеристик поверхні суші, таких як рослинність, рельєф і ґрунт [7,8], LST швидко змінюється як у просторі, так і в часі [1,7] і адекватна характеристика розподілу LST та його тимчасової еволюції, таким чином, вимагає вимірювань з детальною просторовою та часовою вибіркою. Враховуючи складність LST, наземні вимірювання практично не можуть забезпечити значення на великих територіях. З розвитком дистанційного зондування з космосу супутникові дані пропонують єдину можливість для вимірювання LST по всій земній кулі з достатньо високою просторовою роздільною здатністю та з повним просторово-усередненим, локальним, а

не точковим значенням. LST є фундаментальним аспектом клімату та біології, що впливає на організми та екосистеми. LST визначений NASA та іншими міжнародними організаціями як один із найважливіших параметрів даних системи Землі (Earth System Data Records by NASA) [9,10,11]. LST вимірює випромінювання теплового випромінювання від поверхні суші, де вхідна сонячна енергія взаємодіє з землею чи поверхнею та нагріває її. Ця якість робить LST хорошим індикатором розподілу енергії на межі земної поверхні й атмосфери та чутливим до зміни умов поверхні [12,13]. Отримання LST з даних дистанційного термоінфрачервоного зондування (TIR) забезпечує просторово безперервні вимірювання LST із глобальним охопленням для вивчення теплової неоднорідності поверхні Землі та впливу на температуру поверхні в результаті природних змін і змін, спричинених людиною [10,11,12,13].

Денна LST більш тісно пов'язана з радіаційними та термодинамічними характеристиками земної поверхні, ніж стандартні вимірювання температури повітря. LST також більш чутливий до змін щільності рослинності та фіксує додаткову інформацію про біофізичні засоби контролю температури поверхні, такі як шорсткість поверхні та транспіраційне охолодження [14,15]. Зростаюча кількість робіт продемонструвала корисність наборів даних LST для екологічних та біогеографічних досліджень. Температури, отримані з даних TIR, були об'єднані з індексами рослинності для розділення класів ґрунтового покриву [12,13,15], моніторингу динаміки ґрунтового покриву [16,17] та порушень екосистеми. LST використовують як індикатор стану поверхневої вологості, а термічні набори даних використовували для моніторингу посухи та стресу рослин у сільськогосподарських і природних екосистемах [17,18,19]. LST використовувався для вивчення наслідків зміни ґрунтового покриву на клімат [13], а також для дослідження зв'язку між максимальними тепловими аномаліями, хвилями спеки, таненням

крижаних покривів і посухами в тропічних лісах. Термічні дані були використані для розуміння впливу теплових хвиль на структуру пташиного співтовариства і використання коалами середовища існування [19,20,13].

Варто розглянути витоки визначення LST з фізичної точки зору. Усі об'єкти з температурою, вищою за абсолютний нуль, випромінюють випромінювання, а кількість випромінювання від чорного тіла, що перебуває в тепловій рівновазі на довжині хвилі λ і температурі T , описується законом Планка:

$$B\lambda(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda(T)}\right) - 1 \right]} \quad (1)$$

де $B\lambda(T)$ це спектральна яскравість ($W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$) абсолютно чорного тіла з температурою T (К) та довжиною хвилі λ (μm); C_1 та C_2 це сталі ($C_1 = 1.191 \times 10^8 W \mu m^4 sr^{-1} m^{-2}$, $C_2 = 1.439 \times 10^4 \mu m K$). Оскільки більшість природних об'єктів є нечорними тілами, необхідно враховувати коефіцієнт випромінювання ϵ , який визначається як співвідношення між яскравістю об'єкта та яскравістю чорного тіла при тій самій температурі. Спектральна яскравість нечорного тіла визначається спектральним коефіцієнтом випромінювання, помноженим на закон Планка, як показано в рівнянні (1). Очевидно, якщо атмосфера не впливає на виміряне випромінювання, тому LST (тобто T) можна отримати, зробивши температуру предметом рівняння (1) коли відомі випромінювана яскравість і коефіцієнт випромінювання. Довжина хвилі λ_{max} пікового монохроматичного випромінювання при заданій температурі (T) визначається за законом зміщення Віна:

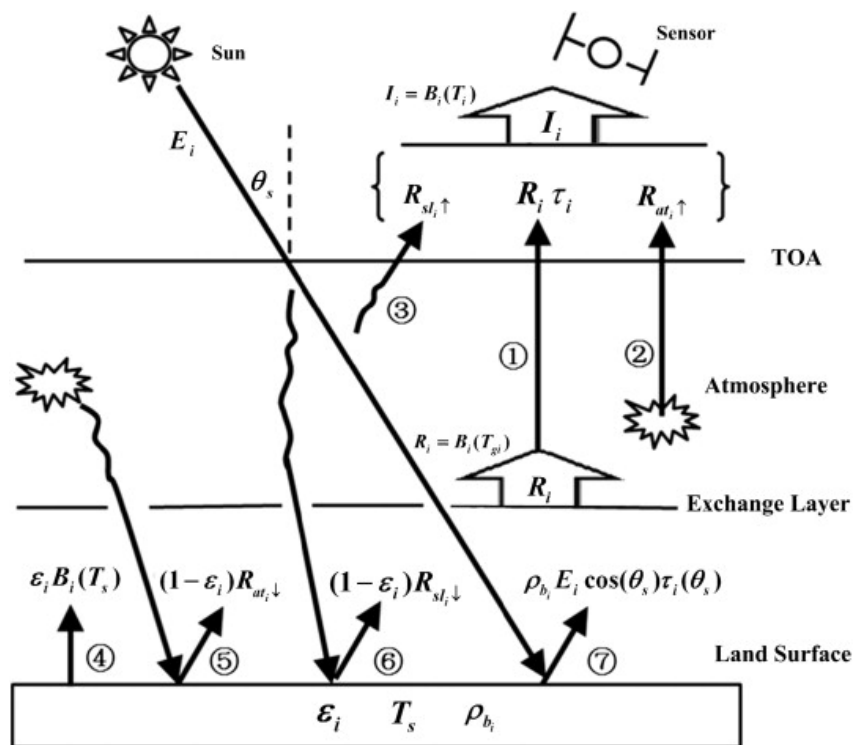
$$T \lambda_{max} = 2897.9 K \mu m \quad (2)$$

Відповідно до цього рівняння довжина хвилі λ_{max} , на якій відбувається максимальне випромінювання, змінюється приблизно від 11,6 μm до 8,8 μm , якщо LST коливається від 250 К до 330 К із середньою температурою Землі приблизно 288 К. Область довжини хвилі між 8 і 13 μm збігається з прозорим вікном в атмосфері, яке є найбільш прозорим для TIR

випромінювання. У випадках, коли температура поверхні перевищує 330 К, пік довжини хвилі переміщується до коротших і коротших довжин хвиль, наприклад, під час лісової пожежі (близько 800 К), максимальне випромінювання становить близько 3,6 μm у середньому інфрачервоному (MIR) діапазоні (3–5 μm), що також збігається з прозорим вікном в атмосфері.

Рівняння переносу випромінювання

Інфрачервоний датчик на борту супутника, який спостерігає за поверхнею Землі, вимірює випромінювання від Землі та її атмосфери вздовж лінії зору. Використовуючи рівняння переносу випромінювання - radiative transfer equation (RTE) і припускаючи безхмарну атмосферу в умовах локальної термодинамічної рівноваги, як показано на рис. 1, інфрачервоне випромінювання каналу I_i , отримане датчиком у верхній частині атмосфери (TOA), можна записати як суму поверхневого випромінювання, ослабленого атмосферою, період викидів в атмосферу та періоду атмосферного розсіювання.



Source: [13]

Рис.1. Ілюстрація рівняння переносу випромінювання в інфрачервоних областях, де I_i — яскравість, виміряна у каналі i у верхній частині атмосфери, ① це випромінювання, яке спостерігається на рівні землі, ослаблене атмосферою, ② і ③ це спрямоване вгору теплове випромінювання атмосфери та висхідне сонячне дифузійне випромінювання, ④ це яскравість, випромінювана безпосередньо поверхнею землі, ⑤ і ⑥ це атмосферне теплове випромінювання направлене вниз і сонячне дифузійне випромінювання, відображене поверхнею землі, ⑦ це пряме сонячне випромінювання, відбите від поверхні землі. На даній ілюстрації θ і φ представляють зенітальний і азимутальний кути огляду, τ_i - ефективне пропускання атмосфери в каналі i ; $R_i\tau_i$ - це випромінювання, яке спостерігається на рівні землі, ослаблене атмосферою ①; $Rat_i\uparrow$ - це теплове випромінювання атмосфери вгори ② ; $Rsl_i\uparrow$ - це висхідне сонячне дифузійне випромінювання, яке є результатом атмосферного розсіювання сонячного випромінювання ③; ε_i і T_s – ефективна поверхнева випромінювальна здатність і температура поверхні в каналі i ; $\varepsilon_i B_i(T_s)$ це випромінювання, випромінюване безпосередньо поверхнею ④; $Rat_i\downarrow$ - це теплове випромінювання атмосфери внизу; $Rsl_i\downarrow$ – це сонячна дифузійна яскравість внизу; $(1-\varepsilon_i)Rat_i\downarrow$ та $(1-\varepsilon_i)Rsl_i\downarrow$ це направлене вниз теплове випромінювання атмосфери та сонячне дифузійне випромінювання, відображене поверхнею ⑤ та ⑥; ρ_{bi} — двонаправлена відбивна здатність поверхні; E_i — сонячне випромінювання в ТОА, θ_s і φ_s - сонячні зенітальний і азимутальний кути; $\rho_{bi}E_i\cos(\theta_s)\tau_i(\theta_s, \varphi_s)$ – пряме сонячне випромінювання, відбите від поверхні ⑦ . Внески сонячного випромінювання в ТОА є незначним у вікні 8–14 мкм як вдень так і вночі, а також у вікні 3–5 мкм вночі, тож елементи, пов’язані з сонцем ③,, ⑥ , ⑦ можна знехтувати без втрати точності.

Для зручності та математичної скороченості яскравості I_i та R_i , виміряні на ТОА та на рівні землі, зазвичай виражаються через яскравості температури, де коефіцієнт випромінювання фіксується на рівні 1. ТОА та яскравісні температури на рівні землі T_i та T_{gi} визначаються відповідно

$$Bi(T_i) = I_i \text{ and } Bi(T_{gi}) = R_i \quad (3)$$

Більшість супутникових датчиків вимірюють вихідне випромінювання зі скінченною спектральною смугою пропускання, тому ефективні для каналу величини, що представляють інтерес, є середньозваженим, вираженим за формулою:

$$X_i = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} gi(\lambda) x \lambda d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} gi(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

де $gi(\lambda)$ – функція спектрального відгуку в каналі i ; λ_1 і λ_2 – нижня і верхня межі довжини хвилі в i -му каналі; X - $B(T)$, I , R , $Rat\uparrow$, $Rsl\uparrow$, $Rat\downarrow$, $Rsl\downarrow$, E , ϵ , τ або ρ_b [13].

LST є одним із ключових параметрів у фізиці процесів на поверхні суші від локальних до глобальних масштабів. Важливість LST все більше визнається, і існує великий інтерес до розробки методологій для вимірювання LST з космосу.

1.2. Аналіз основних супутникових систем для визначення поверхневої температури землі (LST) й земного покриття

Супутникова ера досліджень LST/UHI/SUHI починається в 1972 році [21]. Частка розглянутих досліджень LST/UHI/SUHI з використанням різних супутникових зображень Landsat Series (53%), MODIS (25%), ASTER (7%), Multiple Sensors (6%), AVHRR (4%), Others - SEVIRI, GOES, HCMM, HJ-1B, AATSR, ITOS-1, COMS, FY-2F, AMSR-E, AMSR2 (5%) [9].

Ці датчики мають спільну специфікацію. Датчики є пасивними і, таким чином, приймають і вимірюють як відбите короткохвильове випромінювання (нетеплові спектральні смуги), так і випущене

довгохвильове випромінювання (теплові смуги) поверхнею та атмосферою Землі [23]. Це критично важливо для досліджень SUHI, оскільки розуміння рушійних факторів SUHI широко ґрунтується на розшифровці взаємозв'язку між двома ключовими факторами, включаючи інтенсивність LST/SUHI регіону та пов'язаний базовий склад і конфігурацію ґрунтового покриву/використання. Таким чином, зображення дистанційного зондування є унікальними даними для дослідників, щоб отримати ці фактори для цілого міста шляхом обробки єдиного набору даних (супутникових зображень) [22]. У цьому підрозділі ми надаємо огляд переваг і недоліків трьох супутників/сенсорів як основних постачальників даних для досліджень LST/UHI/SUHI (Landsat, MODIS і ASTER).

Landsat

Майже 53% дослідників використовували одне або декілька зображень Landsat у своїх дослідженнях LST, що підкреслює важливість сузір'я Landsat для знань LST. З моменту запуску Landsat у 1972 році супутникове угруповання мало чотири покоління датчиків, включаючи: (1) датчики мультиспектрального сканера (MSS), оптичні інструменти та відеокамери на борту Landsat 1, 2 і 3, (2) MSS і датчики Thematic Mapper (TM) на борту Landsat 4 і 5, (3) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) на борту Landsat 7 і (4) Operational Land Imager (OLI) і тепловий інфрачервоний датчик (TIRS) на борту Landsat 8 [24,25]. Починаючи з датчика TM з 1982 року, можливість вимірювання теплового випромінювання і, таким чином, LST земної поверхні зробила прорив у дослідженні SUHI.

Існує три основні причини популярності Landsat у дослідженнях LST. По-перше, Landsat «є найдовшою безперервною програмою спостереження Землі» [26]. По-друге, в результаті зміни політики в 2008 році дослідники можуть вільно отримувати зображення Landsat. Таким чином, ці функції забезпечують послідовний, надійний і об'ємний архів даних для дослідження різних аспектів LST. Варто зазначити, що до 2008 року вчені

повинні були платити за дані Landsat. По-третє, серії Landsat 5, 7 і 8 знімають поверхню Землі в 16-денному повторюваному циклі з покриттям смуги 185 км × 185 км. Часова роздільна здатність забезпечує прийнятний період для відображення змін у LST або ґрунтовому покриві/використанні міста, а охоплення смуги є достатньо великим, що дозволяє вченим обробити одне зображення для дослідження всього міського середовища. Це підвищує ефективність часу та точність досліджень LST and SUNI. Відмітимо, що атмосферно скориговані теплові дані Landsat раніше не були доступні як стандартний продукт, і дослідники або використовували значення температури у верхній частині атмосфери, або застосовували різні методи для атмосферної корекції самих даних [23]. Наразі немає робочого продукту Landsat LST, який об'єднує дані з різних датчиків Landsat. Нещодавно Malakar et al. [27] розробили оперативний алгоритм для послідовного отримання Landsat LST для всіх датчиків. Геологічна служба США та набір даних LST мали б запровадити алгоритм, який, як очікується, буде доступний у the Land Processes Distributed Active Archive Center.

У даній роботі ми використали колекцію **USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1**. Цей набір даних містить атмосферно скоригований коефіцієнт відбиття поверхні та температуру поверхні землі, отримані з даних, отриманих датчиками Landsat 8 OLI/TIRS. Ці зображення містять 5 видимих ближніх інфрачервоних (VNIR) смуг і 2 короткохвильових інфрачервоних (SWIR) смуги, оброблені для орто-випрямленого поверхневого відбиття (orthorectified surface reflectance), і одну теплову інфрачервону (TIR) смугу, оброблену для орто-випрямленої температури поверхні. Вони також містять проміжні смуги, які використовуються для розрахунку продуктів ST, а також смуги QA. Продукти Landsat 8 SR створені відповідно до коду відбиття поверхні землі (Land Surface Reflectance Code - LaSRC). Усі продукти Collection 2 ST створені за

допомогою одноканального алгоритму. Смуги зібраних даних упаковуються в "сцени", що перекриваються, охоплюючи приблизно 170 км x 183 км, використовуючи стандартизовану еталонну сітку. Деякі активи містять лише дані SR, у цьому випадку смуги ST присутні, але порожні. Для активів із діапазонами ST і SR параметр «PROCESSING_LEVEL» має значення «L2SP». Для активів лише з діапазонами SR параметр «PROCESSING_LEVEL» має значення «L2SR». Продукти даних повинні містити як оптичні, так і теплові дані для успішної обробки для температури поверхні, оскільки ASTER NDVI потрібен для тимчасового налаштування продукту ASTER GED на цільову сцену Landsat. Таким чином, нічні збори не можуть бути оброблені до температури поверхні. Відома помилка існує у відновленні температури поверхні відносно хмар і, можливо, тіней хмар.

MODIS

Зображення MODIS були другим популярним джерелом даних для досліджень LST/UHI/SUHI (25%). MODIS є ключовим інструментом на борту супутників Terra (1999) і Aqua (2002), запущених NASA для сканування поверхні Землі та атмосфери за допомогою 36-смугового спектрометра та забезпечення глобального покриття кожні один-два дні. MODIS записує зображення з просторовою роздільною здатністю 250 м (смуги 1–2), 500 м (смуги 3–7) і 1 км (смуги 8–36). Теплові зображення знімаються з роздільністю 1 км. Завдяки просторовій роздільній здатності та розмірності смуги MODIS — 2330 км (поперечна траса) на 10 км (вздовж колії в найнижчій точці) — її зображення використовуються для дослідження великих досліджуваних територій [14,15,16,17,18]. Значною перевагою MODIS є низка продуктів із перевіреною якістю даних, створених командою MODIS. Ці дані є обробленими зображеннями, які можна безпосередньо використовувати для різних дослідницьких цілей. Приклади таких продуктів, які широко використовувалися в дослідженнях SUHI, включають денний і нічний LST і дані про коефіцієнт

випромінювання з MOD11C3, MOD11A1 і MOD11A2 [28]. Значення LST у цих продуктах отримується за допомогою узагальненого алгоритму розділеного вікна [29]. У поточній колекції-6 продуктів MODIS LST також був випущений новий продукт LST на основі алгоритму ASTER Temperature Emissivity Separation (TES) (MOD21). Було стверджено, що нові дані можуть забезпечити підвищену чутливість до зміни земного покриву порівняно з іншими продуктами випромінювання [30]. Однак досі ці дані не використовувалися в дослідженнях SUHI.

У даній роботі ми використали колекцію **MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km**. Продукт MOD11A1 V6 забезпечує добову температуру поверхні землі (LST) і значення коефіцієнта випромінювання в сітці 1200 x 1200 кілометрів. Значення температури отримано з продукту смуги MOD11_L2. Вище 30 градусів широти деякі пікселі можуть мати кілька спостережень, де відповідають критеріям ясного неба. Коли це відбувається, значення пікселів є середнім значенням усіх кваліфікованих спостережень. Разом із діапазонами денної та нічної температури поверхні та їх шарами індикаторів якості надаються діапазони 31 і 32 MODIS і шість шарів спостереження.

ASTER

У розглянутих дослідженнях зображення супутника ASTER були третіми за частотою використання (7%). Така невелика кількість пояснюється тим фактом, що зображення ASTER були дорогими з 1999 (дата запуску) до квітня 2016 року, хоча з того часу зображення ASTER були доступні всім користувачам безкоштовно. ASTER збирає дані в 14 спектральних діапазонах. Зображення мають просторову роздільну здатність 15 м (видимі та ближні інфрачервоні діапазони 1–3), 30 м (короткохвильові інфрачервоні діапазони 4–9) і 90 м (теплові інфрачервоні діапазони 10–14). Подібно до MODIS, команда ASTER також надає різноманітні продукти [33], такі як Surface Kinetic Temperature (AST_08),

який забезпечує LST поверхні Землі з точністю до 1,5 Кельвіна [35,36]. Варто зазначити, що цей продукт доступний для денного та нічного часу і, таким чином, надає значну можливість для вивчення добової варіації SUNI [36]. Попередні дослідники також виводили LST з різних теплових діапазонів ASTER для різних типів досліджень SUNI [35,36,37]. Однак широке застосування зображень ASTER для досліджень SUNI значною мірою перешкоджало високій вартості та обмеженому архіву даних порівняно з іншими датчиками, такими як Landsat і MODIS [37]. Беручи до уваги, що дані ASTER зараз безкоштовні, можна очікувати, що використання зображень ASTER для досліджень SUNI збільшиться в найближчі роки. Варто відмітити, що майже 6% попередніх досліджень використовували зображення з кількох датчиків, щоб компенсувати недоліки зображення будь-якого датчика.

1.3. Методи обробки супутникових зображень для визначення поверхневої температури землі (LST) й земного покриття

За останні кілька десятиліть оцінка LST на основі супутникових вимірювань TIR значно покращилася. Було запропоновано багато алгоритмів для обробки характеристик різних датчиків на борту різних супутників і використання різних припущень і наближень для рівняння переносу випромінювання (Radiative transfer equation - RTE) та випромінювальної здатності поверхні землі (Land surface emissivity - LSE). Ці алгоритми можна приблизно згрупувати в три категорії: одноканальні методи, багатоканальні методи та багаторакурсні методи, за умови, що LSE відомі апіорі. Якщо LSE невідомі, то алгоритми можна розділити на три типи: метод покрокового пошуку, одночасний пошук LSE та LST з відомою атмосферною інформацією та одночасний пошук з невідомою атмосферною інформацією. Для аналізу існуючих методів ми використали інформативну таблицю, яка опублікована у роботі [13].

Таблиця 1.

Порівняння різних методів для отримання LST із супутникових даних

Методи		Означення	Переваги	Обмеження та недоліки
Обчислення з відомою випромінювальною здатністю	Одноканальні алгоритми	-	1) Застосовується до датчиків лише з одним каналом TIR	1). Потрібні апріорні знання про коефіцієнт випромінювання пікселя в каналі TIR 2). Потрібні точні атмосферні профілі і RTM для оцінки атмосферних кількостей 3). Невизначеність атмосферних профілів може сильно вплинути на точність пошуку LST. 4). Попередні розрахунки атмосферних величин за допомогою RTM займають багато часу 5). Використання емпіричних залежностей дає погані результати при високому вмісті водяної пари в атмосфері
	Багатоканальні алгоритми	Різне атмосферне поглинання в суміжних каналах TIR	1). Точні атмосферні профілі не потрібні. 2). Підходить для різних датчиків з не менше ніж двома каналами TIR в межах атмосферного вікна	1). Потрібно апріорне знання коефіцієнта випромінювання пікселя в кожному каналі TIR 2). Доступно багато параметризацій коефіцієнтів, які можуть призвести до різних алгоритмів розділеного вікна з різними характеристиками продуктивності. 3). Точність знижується за наявності високого загального стовпця WV або за великих зенітних кутів огляду.
	Багатокутні алгоритми	1). LST не залежать від VZA 2). Атмосфера горизонтально однорідна і стабільна протягом часу спостереження	1) Точні атмосферні профілі не потрібні 2). Точність пошуку LST нечутлива до невизначеності в оптичних властивостях атмосферних поглиначів	1). Вимагає апріорного знання кутової зміни коефіцієнта випромінювання в піксельному масштабі супутника 2). Потрібна значна різниця в похилих довжинах шляху 3). Вимагає точної геометричної ресстрації 4). Застосовується тільки до однорідних поверхонь.
Обчислення з невідомою	Метод випромінювання на основі	Поверхневі матеріали одного класу мають	Точна атмосферна корекція не потрібна	1). Вимагає апріорного знання коефіцієнта випромінювання кожного

Методи		Означення	Переваги	Обмеження та недоліки
випромінювальною здатністю	класифікації (Classification-based emissivity method - CBEM)	однакову випромінювальну здатність		класу, а також відповідної карти класифікації 2). Сезонні та динамічні стани поверхонь можуть погіршити точність 3). Менш точні при грубій роздільній здатності та менш надійні для класів із контрастними коефіцієнтами випромінювання.
	Методи випромінювання на основі NDVI (NDVI-based emissivity methods - NBEM)	1). Поверхня складається з ґрунту та рослинності 2). Зміна LSE лінійно залежить від частки рослинності в пікселі	1). Підходить для різних датчиків із червоним/ближнім інфрачервоним діапазоном та діапазоном TIR 2). Точна атмосферна корекція не потрібна	1). Невизначеність випромінювальної здатності ґрунту та рослинності, порогових значень NDVI для ґрунту та рослинності, частки рослинності та впливу порожнин може погіршити точність 2). Менш точний для поверхонь, покритих лише ґрунтом 3). Не застосовується на таких поверхнях, як вода, лід, сніг і каміння, і не підходить для поверхонь, які містять старіючу рослинність.
	Методи на основі спектральних індексів денної/нічної температури Day/night temperature independent spectral indices (TISI) based methods	Коефіцієнти випромінювання однакові або суттєво не змінюються вдень і вночі	1). Приблизних атмосферних поправок достатньо 2). Фізична основа і підходить для різних поверхонь	1). Потрібні приблизні поправки за атмосферу 2). Доступні принаймні два канали, один в MIR, а інший в атмосферних вікнах TIR 3). Вимагають точної геометричної реєстрації 4). Спостереження повинні проводитися під однаковими кутами огляду як вдень, так і вночі
	Двотемпературні методи Two-temperature methods (TTM)	Коефіцієнт випромінювання є незмінним	1) Більше підходить для геостационарних супутникових даних 2) Одночасне отримання LST і LSE	1) Вимагає точних атмосферних поправок у різний час 2) Потрібні багаточасові дані TIR і велика різниця температур між різними часами 3) Вимагають точної геометричної реєстрації 4) Рішення більш чутливе до шуму приладу та помилок атмосферних поправок

Методи	Означення	Переваги	Обмеження та недоліки	
	<p>Операційні фізично орієнтовані методи денно-нічні Physics-based day/night operational methods (D/N)</p>	<p>1) LSE не змінюються суттєво вдень і вночі 2) Кутовий фактор має дуже малу варіацію в каналах MIR</p>	<p>1) Не потребує попередніх точних атмосферних профілів 2) Рішення стають більш стабільними та точними завдяки введенню каналів MIR 3) Точність LST і LSE значно покращена шляхом модифікації атмосферних профілів під час пошуку 4) Точне отримання як LST, так і LSE на фізичній основі</p>	<p>5) Спостереження необхідно проводити під однаковими кутами огляду</p> <p>1) Вимагає багаточасових даних у кількох каналах в атмосферних вікнах MIR та TIR 2) Вимагають точної геометричної реєстрації 3) Приблизні форми атмосферних профілів повинні бути задані апіорі 4) Процес пошуку складний, і потрібні початкові припущені значення 5) Спостереження необхідно проводити під однаковими кутами огляду</p>
<p>Методи випромінювання сірого тіла Gray body emissivity methods (GBE)</p>	<p>У спектрі випромінювання існує плоска область.</p>	<p>1) Багаточасові дані не потрібні 2) Одночасно можна отримати LST і LSE</p>	<p>1) Вимагають точних атмосферних поправок 2) Потрібні принаймні два канали з однаковим LSE 3) Важко знайти два канали з однаковими LSE в багатоспектральних датчиках TIR 4) Рішення більш чутливе до шуму приладу та помилок в атмосферних поправках</p>	
<p>Методи розділення за температурою випромінювання Temperature emissivity separation methods (TES)</p>	<p>Зв'язок між мінімальним LSE і спектральним контрастом справедливий для всієї гами поверхневих матеріалів</p>	<p>1) Уточнює значення максимального LSE 2) Не вимагає жодних припущень щодо форми LSE 3) Одночасне отримання LST і LSE для будь-якої поверхні</p>	<p>1) Вимагають точних атмосферних поправок 2) Вимагають щонайменше трьох смуг TIR в межах атмосферних вікон 3) Точність залежить від атмосферної компенсації та емпіричного співвідношення між мінімальною LSE та спектральним контрастом 4) Невизначеність більш серйозна для сірих тіл 5) Розриви кроків на краях сірого тіла можуть бути викликані неточністю внутрішньої поведінки методу масштабування</p>	

Методи		Означення	Переваги	Обмеження та недоліки
	Ітераційні спектрально гладкі методи Iterative spectrally smooth TES methods (ISSTES)	Спектр LSE більш гладкий, ніж спектральне поглинання атмосфери	1) Продуктивність не залежить від вибору функції гладкості 2) Висока точність може бути отримана з високим SNR 3) Одночасно можна отримати LST і LSE	1) Вимагають точних атмосферних поправок 2) Підходить лише для гіперспектральних ІЧ-даних 3) Чутливий до спектральних зсувів і варіацій FWHM 4) Поява особливих точок призводить до труднощів у пошуку прийнятного рішення
	Методи розділення лінійної випромінювальної здатності за температурою Linear emissivity constraint temperature emissivity separation methods (LECTES)	1) Спектр випромінювання можна розділити на M сегментів 2) Коефіцієнт випромінювання в кожному сегменті змінюється лінійно з довжиною хвилі	1) Зменшена поява особливих точок і стійкість до білого шуму 2) Добре працює у вологих і теплих атмосферних умовах 3) Одночасно отримати LST і LSE	1) Вимагають точних атмосферних поправок 2) Вимагати апіорних знань про атмосферне випромінювання, спрямоване вниз 3) Підходить лише для гіперспектральних даних TIR 4) Чутливий до зсувів центральної довжини хвилі каналів TIR
Обчислення із невідомою випромінювальною здатністю та невідомими атмосферними величинами	Artificial neural network methods (ANN)		1) Здатність вчитися на складних шаблонах 2) Узагальнено для шумного середовища 3) Включайте знання та різні фізичні обмеження 4) Одночасно отримати LST, LSE та профілі атмосфери	1) Сильно залежить від архітектури ANN і даних навчання 2) Важко визначити відповідні архітектури та схеми навчання та репрезентативні набори навчальних даних 3) Процес пошуку неможливо добре контролювати 4) Важко інтерпретувати вагові коефіцієнти, призначені кожному входу, і покращити результат
	Two-step physical retrieval methods (TSRM)	1) Дзеркальне відбиття поверхні та постійний кутовий форм-фактор використовуються для спрощення RTE 2) PCA можна використовувати для зменшення кількості невідомих без значної втрати точності	1) Не потребує апіорних атмосферних поправок 2) Регуляризація PCA та Тихонова можуть бути використані, щоб зробити рішення більш стабільним та точним 3) Одночасне отримання атмосферних профілів, LST і LSE	1) Складність 2) Низька обчислювальна ефективність обмежує застосування 3) Потрібна достатня кількість каналів 4) Вимагайте початкового припущення для LSE, LST і атмосферної температури-вологості 5) Рішення сильно залежить від початкового припущення

Джерело [13]

Оскільки всі припущення та обмеження, пов'язані з методами пошуку визначення LST на основі супутникових зображень, такі як необхідна кількість каналів TIR та знання про коефіцієнт випромінювання або атмосферні величини, не можуть бути виконані одночасно, порівняння проводяться рідко. Таким чином автори [13] щоб надати стислий огляд, припущення, переваги та обмеження кожного з цих методів узагальнили в таблиці 1, щоб допомогти користувачам вибрати оптимальний метод на практиці.

Немає універсального методу, здатного завжди точно отримувати LST з усіх супутникових даних TIR, тому що описані вище методи пошуку LST були запропоновані для використання в різних умовах з різними припущеннями. Оптимальний метод отримання LST з космосу на практиці можна вибрати з врахуванням характеристик датчика, доступність даних про коефіцієнт випромінювання та інформацію про атмосферу, а також складність методу та наявність інших додаткових даних.

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Фізико-географічне районування території дослідження

Харківська область розташована на північному сході України на території двох лівобережних природних зон України-лісостепової та степової, в межах вододілу, що розділяє басейни річок Дон і Дніпро. Харківська область межує з Білгородською областю в Росії на півночі, Луганською областю на сході, Донецькою областю на південному сході, Дніпропетровською областю на півдні, Полтавською областю на заході та Сумською областю в Україні. на північному заході. Площа території Харківської області становить 31,4 тис.км², що становить 5,2% території України, відстань зі сходу на захід становить 225 км, з півночі на південь - 200 км. Дата утворення району - 27.02.1932 р. кількість адміністративних округів - 7, це на 1 січня 2022 року. Кількість міст-17, з них: обласного підпорядкування 7. Кількість населених пунктів-1751. територіальних громад-56, у тому числі: міських - 17, сільських – 26, сільських - 13. населення станом на 01.01.2022, тис.чол. 2 598 961, з них: міських 2 115 117, сільських 483 844. густота населення становить 82,7 тис.осіб на 1 км² [38,39]. 807-ІХ" про утворення та ліквідацію територій", до нього входять 17 міст, у тому числі 7 міст обласного підпорядкування, які є адміністративно-територіальними утвореннями. Кількість населених пунктів-1751, сільських поселень - 56, у тому числі: міських – 17, селищних – 26, сільських - 13.

Проект адміністративно-територіального устрою субрегіонального рівня Харківської області

Пропозиції Мінрегіону

Кількість проектних ОТГ – 48,
з них:
• міських – 17
• селищних – 23
• сільських – 8

Кількість об'єднаних районів – 4,

1. Харківський – 2097,1 тис. осіб
(в т.ч. м. Харків – 1 439,1 тис. осіб)
2. Ізюмський – 184,7 тис. осіб
3. Куп'янський – 139,4 тис. осіб
4. Первомайський – 257,4 тис. осіб

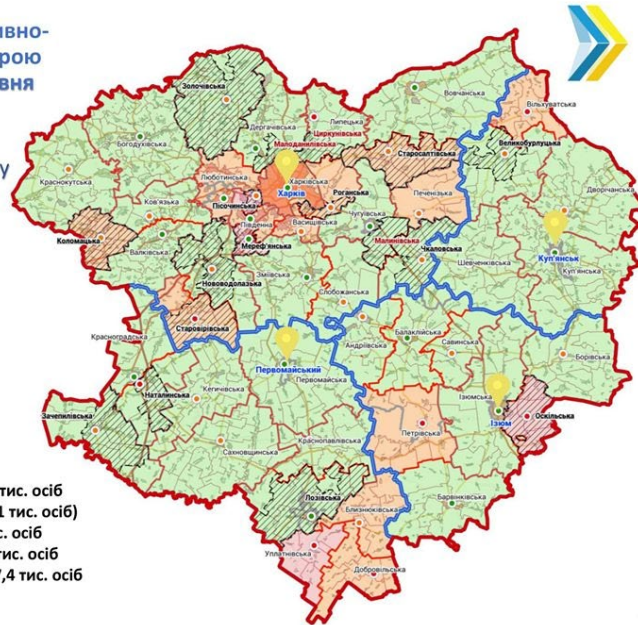


Рис.2.1. Адміністративно-територіальний устрій Харківської області [38]

Вигідне географічне положення регіону є сприятливою передумовою для розвитку зовнішньої і внутрішньої торгівлі і транспортних послуг. Харківська область володіє потужним промисловим, сільськогосподарським і науковим потенціалом. Основними видами корисних копалин є: нафта, газ, конденсат, кам'яне і буре вугілля, пісок (будівельний, формувальний, кварцовий пісок), глина (вогнетривка, керамічна), гіпс, крейда, мергель, мінеральна вода. Харківська область займає 5-е місце в Україні. Її мінерально-сировинна база на 28,5% складається з паливно-енергетичної сировини (Нафта, газ, конденсат, вугілля), на 53,4% - із сировини для виробництва будівельних матеріалів, решта (18,1%) - це кольорові метали, металева сировина, прісні мінеральні ґрунтові води [39]. Рельєф Харківської області являє собою хвилясту рівнину, обмежену річковими долинами, ярами і балками. Її основні характеристики визначаються близькістю території до басейнів річок Дон і Дніпро. Басейн Дону займає 75% території, а басейн Дніпра - 25%. Річка Сіверський Донець-головна водна артерія Харківської області - є притокою

Дону, ця річка несе свої води по території регіону протяжністю 375 км (її загальна протяжність становить 1053 км). Основними притоками в регіоні є річки Оскіл, Уда, Берека, Харків, Лопань, сухий кінець, Балаклава, Вовча зграя, Великий Бурлук та інші. У регіоні затверджено балансові запаси питної та технічної ґрунтових вод на 95 родовищах, що охоплюють 5 ділянок підземних вод.

Клімат та температура

За природно-кліматичними умовами територію регіону можна розділити на дві зони: Лісостеп - це центральні, північні і західні райони, а степ - південні і східні райони. Клімат регіону помірно континентальний. Оскільки протяжність території регіону із заходу на схід і коливання висот невеликі, кліматичні коливання в межах регіону дуже незначні. Середньорічні температури влітку становлять + 21^o С, а взимку - 7^o С. Середньорічна кількість опадів становить 540 мм [38,39].

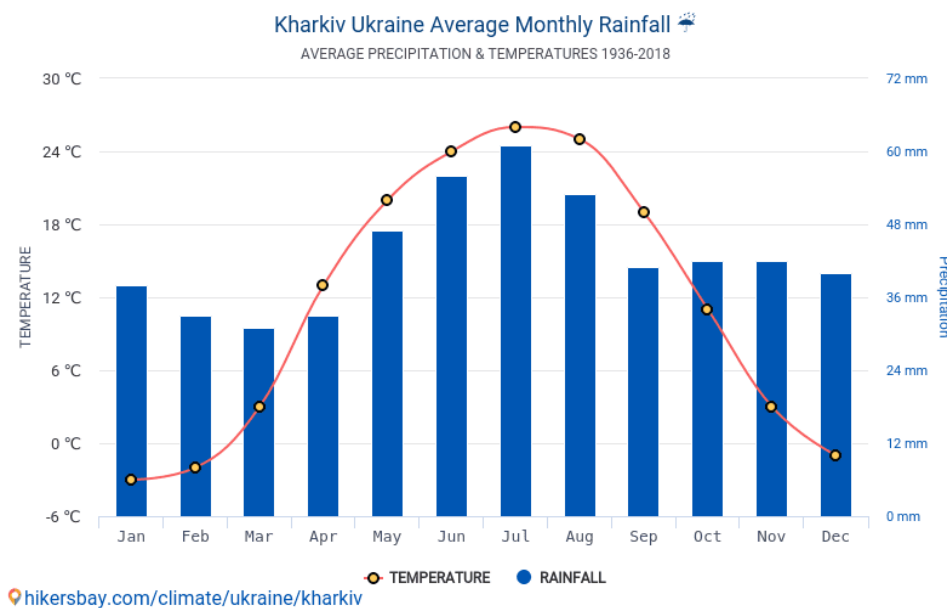


Рис.2.2. Середня кількість опадів та середня температура з 1936 по 2018 роки [42].

Водні ресурси

Харківська область розташована на вододілі двох річкових басейнів – Дону (Сіверський Донець) і Дніпра. У регіоні вкрай низький рівень водопостачання-1,8% від загального обсягу водних ресурсів України. Водні ресурси Харківської області утворюються за рахунок тимчасового припливу поверхневих вод уздовж річки Сіверський Донець, місцевого річкового стоку, який утворюється в межах регіону, стічних вод, шахтних і кар'єрних вод, а також експлуатаційних запасів підземних вод. З них, згідно з класифікацією річок України, одна відноситься до великої - Сіверської Донецької, протяжністю 1053 км (в межах області - 375 км), шість - до річок середнього розміру, до яких відносяться Скалка, Уде, Лопань, Мерла, Орел, Самара. Інші річки класифікуються як невеликі. Площа земель, зайнятих водними об'єктами, становить 91,3 тис.га (2,9% території), у тому числі 46,3 тис. га під водосховищами і ставками [38,39].

Грунтові ресурси

У ґрунтовому покриві регіону переважають типові чорноземи (39,44%), звичайні низовини (34,56%), звичайні (11,68%), підзолисті (3,37%) та сірі ліси (1,44%). У ґрунтовому покриві регіону переважають типові чорноземи (39,44%), звичайні низовини (34,56%), звичайні (11,68%), підзолисті (3,37%) та сірі ліси (1,44%). Решта площі (3,15%) представлені лучно-чорноземними та іншими ґрунтами. Найбільш родючими є типові чорноземи і підзолисті ґрунти. Серед орних земель регіону 6,2 тис. га середньоокислих ґрунтів, що потребують постійної хімічної рекультивації [41]. Згідно з даними обстеження ґрунтів, у Харківській області налічується понад 150 видів ґрунтів. Глибокі, сірі, темно-сірі підзоли та деградовані ґрунти, підзолисті та деградовані чорноземи поширені в північній частині регіону (Лісостеп). У ґрунтовому покриві степової зони переважають звичайні чорноземи і звичайні глибокі чорноземи. Серед інших менш поширених ґрунтів в регіоні в сільському господарстві в основному використовуються лугові і засолені ґрунти - 23 000 га, чорноземи на

піщаних ділянках площею 7,7 000 га, лугові і болотисті ґрунти площею 0,77 000 га практично не використовуються. Еродовані ґрунти займають 41% орних земель [38,39,41].

Рослинність

На його території зустрічаються як зональні, так і азональні типи рослинності, а саме: гірські дуби, байрачні дуби, березові ліси, сухі луки, лугові степи, мультитравно-типчаково-ковиліві степи, крейдяний вихід, заплавні ліси, сосново-листяні ліси, заплавні ліси, галофітна рослинність, осока і мохово-злакові болота, Прибережна і водна рослинність, заплавні ліси, соснові і широколистяні ліси, заплавні ліси, галофітна рослинність, осокові і мохово-злакові болота, Прибережна і водна рослинність, заплавні ліси, заплавні ліси, заплавні ліси, заплавні ліси, галофітна рослинність, осоки- і мохово-злакові болота, Прибережна і водна рослинність; рослинність антропогенного походження, агрофітоценоз на місці створених зональних лісів, азональних соснових лісів, розораних зональних луків і змішаних коник-ковилівих степів, синантропна рослинність. За спектром основних форм життя флора досить типова для регіонів з помірним кліматом. Він включає в себе наступні основні види: дерева - 27 видів, чагарники – 48, чагарники і чагарники – 26, багаторічні трав'янисті рослини – 873, дворічні рослини – 95, однорічні трав'янисті рослини – 188 видів. Флора Харківської області включає 349 кормових, 340 декоративних, 337 медоносних, 571 лікарський, 112 харчових, 74 отруйних, 64 дубильних, 60 вітамінізованих, 59 фарбувальних, 57 ТЕХНІЧНИХ, 36 жирних видів, а також рослини, помічені ефірною олією [38,39].

Природно-заповідний фонд

На січень 2022 року в природоохоронному фонді Харківської області налічується 247 особливо охоронюваних природних територій, Загальна площа природоохоронного фонду становить 74 877 000 гектарів. із загального числа об'єктів природоохоронного фонду 13 мають

республіканське значення і 234 - місцевого значення. Частка площі природоохоронного фонду в площі адміністративно-територіальної одиниці становить 2,4%. З метою забезпечення збереження біорізноманіття в регіоні в рамках реалізації державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року в Харківській області були проведені роботи з розширення мережі територій та об'єктів природоохоронного фонду [39]. Природні ландшафти спостерігаються майже на 30,4% території Харківської області. У найменш зміненому вигляді вони збереглися на територіях, населених лісами, чагарниками, болотами і відкритими просторами, площа яких становить всього 14,6% території. Отже, лише ці території мають стан, близький до природного, і можуть бути віднесені до регіональної системи екосистем [39,40,43].

Нинішній стан землекористування не відповідає вимогам раціонального використання природних ресурсів. Порушується екологічно прийнятне співвідношення орних земель і природних кормових угідь, що негативно позначається на стабільності сільськогосподарського ландшафту. Рівень розвитку сільського господарства перевищує екологічно допустимі норми [42]. Водночас стрімкі темпи урбанізації території за рахунок зелених насаджень також чинять негативний вплив на екосистеми міста та приміських зон

2.2. Дослідження просторово-часових змін території внаслідок урбанізації на основі статистичної інформації

Харківська область є одним з найбільших регіонів України по території, чисельності населення і розвитку народногосподарського комплексу – це великий промисловий центр України, в якому представлені практично всі види економічної діяльності. Особливостями соціально-економічного розвитку є сприятливе географічне положення та наявний природно-ресурсний потенціал, які сприяють прискореному соціально-економічному розвитку Харківської області і тим самим займають важливе місце в

економіці України. Згідно з документом [45], в регіоні спостерігається помірне, але все ж помірне забруднення повітря, в основному через збільшення кількості стаціонарних джерел забруднення повітря, таких як промислові підприємства, особливо паливні, енергетичні, машинобудівні та коксохімічні підприємства. Переважна більшість викидів з мобільних джерел у Харківській області виробляється автомобільним транспортом. Забруднення повітря автотранспортом обумовлено, перш за все, постійно зростаючим числом транспортних засобів і недостатньою пропускнуою спроможністю мережі автомобільного транспорту, яка сформувалася в умовах існуючої забудови території, особливо в центральній частині міста, та іншими додатковими особливостями, див.таблицю.2.1. [45].

Таблиця 2.1.

Роки	Викиди в атмосферне повітря, тис. тонн		
	Всього	у тому числі	
		стаціонарними джерелами	пересувними джерелами
2013	328,421	210,267	118,154
2014	263,1	150,501	112,600
2015	148,7	53,4	95,3
2016	191,597	100,2	91,397
2017	140,138	45,0	95,182
2018	139,559	44,7	93,818
2019	206,716	106,5	100,216
2020	207,760	94,1	113,616
2021	-*	-*	-*

Примітка:* -за даними Головного управління статистики у Харківській області статистична інформація щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у 2021 році буде оприлюднена після завершення терміну для подання статистичної та фінансової звітності, встановленого Законом України «Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни».

Згідно зі статистичними даними, цей регіон належить до найбільш урбанізованих регіонів країни і являє собою переважно міські, житлові та містобудівні споруди з високим рівнем промислового та містобудівного розвитку.



Рис. 2.3. Зони урбанізації [46,47]

Згідно рис. 2.3. Центральна урбанізована зона утворена навколо центру планування Харкова і є найбільш розвиненою агломерацією регіону. Її загальна чисельність становить 2,1 мільйона чоловік. Жителі (77% населення регіону) майже на 95% проживають в містах. Урбанізована зона Ізюм розташована в межах Ізюмського, Балаклійського та Борівського районів з центром у місті Ізюм. 75% жителів проживають у містах. В урбанізованій зоні Куп'янська проживає 98 000 чоловік. В урбанізованій зоні Лозова проживає 117 000 чоловік, рис.2.3. [46, 47].

Варто вивчити тенденції змін у структурі земельного фонду та визначити, чи є суттєві зміни в площі оброблюваних земель та інших. Згідно з документом [39]

Основні види земель та угідь	2017 рік		2018 рік		2019 рік		2020 рік		2021 рік	
	усього, тис. га	% до загальної площі території	усього, тис. га	% до загальної площі території	усього, тис. га	% до загальної площі території	усього, тис. га	% до загальної площі території	усього, тис. га	% до загальної площі території
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Загальна територія	3 141,85	100	3 141,85	100	3 141,85	100	3 141,85	100	3 141,85	100
у тому числі:										
1. Сільськогосподарські угіддя, з них:	2 411,03	76,7	2 411,03	76,7	2 411,03	76,7	2 411,03	76,7	2 411,03	76,7
рілля	1 932,36	61,5	1 932,36	61,5	1 932,36	61,5	1 932,36	61,5	1 932,36	61,5
перелogi	7,59	0,2	7,59	0,2	7,59	0,2	7,59	0,2	7,59	0,2
багаторічні насадження	49,22	1,6	49,22	1,6	49,22	1,6	49,22	1,6	49,22	1,6
сіножаті та пасовища	421,86	13,4	421,86	13,4	421,86	13,4	421,86	13,4	421,86	13,4
2. Ліси та інші лісовкриті площі	417,25	13,3	417,25	13,3	417,25	13,3	417,25	13,3	417,25	13,3
з них вкриті лісовою рослинністю	377,93	12,0	377,93	12,0	377,93	12,0	377,93	12,0	377,93	12,0
3. Забудовані землі	124,84	4,0	124,84	4,0	124,84	4,0	124,84	4,0	124,84	4,0
4. Відкриті заболочені землі	32,02	1,0	32,02	1,0	32,02	1,0	32,02	1,0	32,02	1,0
5. Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (піски, яри, землі, зайняті зсувами, щебенем, галькою, голими скелями)	33,77	1,1	33,77	1,1	33,77	1,1	33,77	1,1	33,77	1,1
6. Інші землі	122,94	2,0	122,94	2,0	122,94	2,0	122,94	2,0	122,94	2,0
Усього земель (суша)	3081,11	98,1	3081,11	98,1	3081,11	98,1	3081,11	98,1	3081,11	98,1
Території, що покриті поверхневими водами	60,74	1,9	60,74	1,9	60,74	1,9	60,74	1,9	60,74	1,9

Примітка: * – згідно з інформацією Головного управління Держгеокадастру у Харківській області.

Рис. 2.4. Земельний фонд Харківської області станом з 2017 по 2021 роки

Основні види земель та угідь	2012 рік		2013 рік		2014 рік		2015 рік		2016 рік	
	всього, тис. га	% до загальної площі території	всього, тис. га	% до загальної площі території	всього, тис. га	% до загальної площі території	всього, тис. га	% до загальної площі території	всього, тис. га	% до загальної площі території
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Загальна територія	3 141,8	100	3 141,8	100	3 141,8	100,0	3 141,8	100	3 141,8	100
у тому числі:										
1. Сільськогосподарські угіддя	2 416	76,9	2 413,8	76,8	2 411,3	76,8	2 411,5	76,8	2 411,5	76,8
з них:										
рілля	1 915,9	61	1 928,6	61,4	1 931,6	61,5	1 933,2	61,5	1 933,2	61,5
перелogi	14,8	0,47	11,7	0,37	8,3	0,3	7,5	0,2	7,5	0,2
багаторічні насадження	49,5	1,48	49,4	1,6	49,1	1,6	48,9	1,6	48,9	1,6
сіножаті	121,3	3,86	118,5	3,77	422,3	13,4	421,9	13,4	421,9	13,4
пасовища	314,4	10	305,6	9,7	417,6	13,3	417,4	13,3	417,4	13,3
2. Ліси і інші лісовкриті площі	417,9	13,3	417,7	13,3	378,0	12,0	378	12	378	12
3. Забудовані землі	122,5	3,9	123,9	3,94	124,6	4,0	124,2	4	124,2	4
4. Відкриті заболочені землі	31,4	1,0	31,9	1,02	31,8	1,0	32,1	1	32,1	1
5. Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (піски, яри, землі, зайняті зсувами, щебенем, галькою, голими скелями)	31,4	1,0	33,6	1,07	33,4	1,1	33,4	1,1	33,4	1,1
6. Інші землі	62,9	2,0	60,3	1,92	123,1	3,8	123,2	3,8	123,2	3,8
Усього земель (суша)	3 082,1	98,1	3 081,2	98,1	3 081,1	98,1	3 080,9	98,1	3 080,9	98,1
Території, що покриті поверхневими водами	59,7	1,9	60,6	1,9	60,7	1,9	60,9	1,9	60,9	1,9

Рис. 2.5. Земельний фонд Харківської області станом з 2012 по 2016 роки

Аналіз статистичної інформації, представленої на рис.2.4 і Рис.2.5. Зверніть увагу, що площа забудови (121,7 тис.га -2011 р.) збільшилася на 3,14 тис. га в період з 2011 по 2021 рр. Площа забудови збільшилася на 3,14 тис. га в період з 2011 по 2021 рік. Площа лісів скоротилася на 0,65 тис.га (416,6 тис. га - 2011 р.). Площа сільськогосподарських угідь скоротилася на

7,58 тис. га, в той час як площа орних земель збільшилася на 5,36 тис. га, але площа орних земель скоротилася на 6,31 тис. га. площа відкритих водно-болотних угідь також скоротилася на 1,12 тис. га. В цілому зміни в земельному фонді регіону не є принципово негативними, але тенденція до збільшення оброблюваної площі за рахунок певних типів орних земель і водно-болотних угідь зберігається.

Отже, діяльність людини має більший вплив на рослинний покрив наземних екосистем, що призводить до змін навколишнього середовища на місцевому, регіональному та глобальному рівнях. Землекористування відноситься до різних видів діяльності людини на Землі, які призводять до змін у структурі рослинності, водойм, ґрунту, гірських порід та інших природних ресурсів території. Зміни навколишнього середовища також включають підвищення температури поверхні в результаті перетворення рослинного покриву в інші форми землекористування, такі як голі поверхні, тверді поверхні та сільськогосподарські угіддя [1,2,3]. Вважається, що температура поверхні Землі в більшості регіонів світу, особливо в країнах, що розвиваються, буде експоненціально зростати в 2050 році через вплив забруднення та урбанізації [11]. Серед інших факторів зростання населення та неконтрольоване та неправильне управління змінами ґрунтового покриву та землекористування в міських районах сприяють глобальним змінам клімату, що підвищує температуру поверхні [24]. Таким чином, оцінка змін LULC на території дозволить зрозуміти масштаби і просторовий масштаб змін, викликаних діяльністю людини.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОВЕРХНЕВОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ЗЕМЛІ (LST) ТА ЗМІНАМИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Обчислення температури поверхні землі (LST) з використанням продукту MODIS and Landsat в середовищі Google Earth Engine

Температура поверхні землі (LST), отримана з кількох даних дистанційного зондування, широко використовується для виявлення міського теплового острова та зони екологічного комфорту [18,22,25,26]. LST може суттєво змінюватися на великій однорідній поверхні суші або навіть у відносно невеликій неоднорідній міській території [14, 24, 25]. Різні типи реакції LULC є різними в діапазоні TIR тому LST значно відрізняються в міському середовищі [11,12,13,14,15,16]. Типи LULC в основному змінюються в процесі трансформації землі [10]. Таким чином, час є важливим фактором у моніторингу LST. Ці просторові та часові дані LST також змінюються залежно від сезонних змін, оскільки висота сонця та азимут сонця змінюються з сезонами. Отже, сезонні коливання LST є досить важливими в будь-якому дослідженні, пов'язаному з LULC.

Для обчислення LST на основі MODIS ми використали продукт **MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km** на хмарній платформі Google Earth Engine за період з 2004 по 2022 роки. Наведено деяку інформацію про цей продукт. Продукт **MOD11A1V6** забезпечує добову температуру поверхні землі (LST) і значення коефіцієнта випромінювання в сітці 1200x1200 кілометрів. Значення температури отримано з продукту смуги **MOD11_L2**. Вище 30 градусів широти деякі пікселі можуть мати кілька спостережень, де відповідають критеріям ясного неба. Коли це відбувається, значення

пікселів є середнім значенням усіх кваліфіковани спостережень. Разом із діапазонами денної та нічної температури поверхні та їх шарами індикаторів якості надаються діапазони 31 і 32 MODIS і шість шарів спостереження. Просторова роздільна здатність цього продукту становить 1000 метрівю.

Name	Units	Min	Max	Scale	Offset	Description
LST_Day_1km	K	7500	65535	0.02		Daytime Land Surface Temperature
QC_Day						Daytime LST Quality Indicators
+ Bitmask for QC_Day						
Day_view_time	h	0	240	0.1		Local time of day observation
Day_view_angle	deg	0	130		-65	View zenith angle of day observation
LST_Night_1km	K	7500	65535	0.02		Nighttime Land Surface Temperature
QC_Night						Nighttime LST Quality indicators
+ Bitmask for QC_Night						
Night_view_time	h	0	240	0.1		Local time of night observation
Night_view_angle	deg	0	130		-65	View zenith angle of night observation
Emis_31		1	255	0.002	0.49	Band 31 emissivity
Emis_32		1	255	0.002	0.49	Band 32 emissivity
Clear_day_cov		1	65535	0.0005		Day clear-sky coverage
Clear_night_cov		1	65535	0.0005		Night clear-sky coverage

Рис.3.1. Інформація про канали, що входять в продукт

Опис алгоритму визначення LST по MODIS:

- першим кроком було завантаження продукту та фільтрація по області дослідження

```
var Modis_daily_LST = ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD11A1");
```

```
var before = ROI.filter(ee.Filter.eq('NAME_1','Kharkiv'));
```

- далі ми вибрали період дослідження, і першим періодом були роки з 2004 по 2013 рік, роки інтенсивної урбанізації до початку війни

```
var start = ee.Date('2004-01-01');
```

```
var dateRange = ee.DateRange(start, start.advance(10,'year'));
```

```
var modis_lst = Modis_daily_LST.select('LST_Day_1km').filterDate(dateRange);
```

- кількість тайлів, що входять в карту LST становить 3651 (2004-2013) та 3220 (2014-2022)

```
print(modis_lst.size());
```

- оскільки LST по MODIS обчислюється в Кельвінах то потрібно перевести ці одиниці в Цельсії для адекватного відображення результату

```
var kelvin_to_celcius = modis_lst.map(function(image){
return image.multiply(0.02).subtract(273.15)
.copyProperties(image, ['system:time_start','system:time_end']);
});
```

- далі потрібно усереднити значення для відображення на карті та підібрати візуалізацію

```
var study_Area = kelvin_to_celcius.mean().clip(before);
var landSurfaceTemperatureVis = {
min:-10,
max: 45,
palette: [
'040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
'0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
'3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
],};
```

- для відображення у вікні MAP потрібно задати інформацію

```
Map.addLayer(study_Area , landSurfaceTemperatureVis, "before");
```

- для експорту побудованої карти LST пропишемо код експорту та завантажимо в ArcGIS для подальшої компоновки

```
Export.image.toDrive({
image:study_Area ,
description:'Kharkiv_LST_before',
folder:'GEE',
region:before,
scale: 1000,
maxPixels: 1e13
})
```

- далі згенеруємо код для побудови графіка LST

```
var chart = ui.Chart.image.series({  
  imageCollection:kelvin_to_celcius ,  
  region: before,  
  reducer: ee.Reducer.mean(),  
  scale: 1000,  
  xProperty:'system:time_start'}).setOptions({  
  title:'Daily LST of the Kharkiv obl before the war from 2004 to 2013',  
  vAxis: {title:'LST (degree celcius)'},  
  hAxis: {title:'Time'}  
});  
print(chart);
```

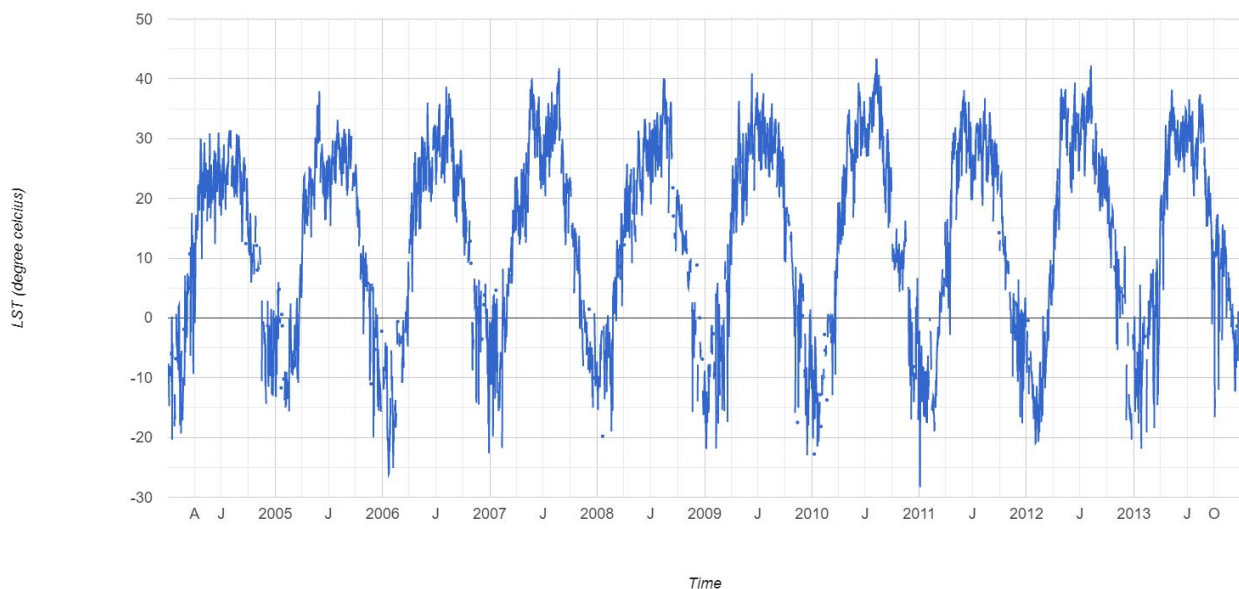


Рис.3.2. Додова LST для Харківської області за період з 2004 по 2013 роки
Варто відмітити, що за цей період найнижчою була температура -28.321 це 4 січня 2011, а найвижчий показник було зафіксовано +43.319 – 10 серпня 2010. По графіку видно, що в цілому LST для Харківської області має тенденцію до збільшення, тобто йде нагрівання поверхні. Було б доцільно порівняти показники з показника температури повітря.

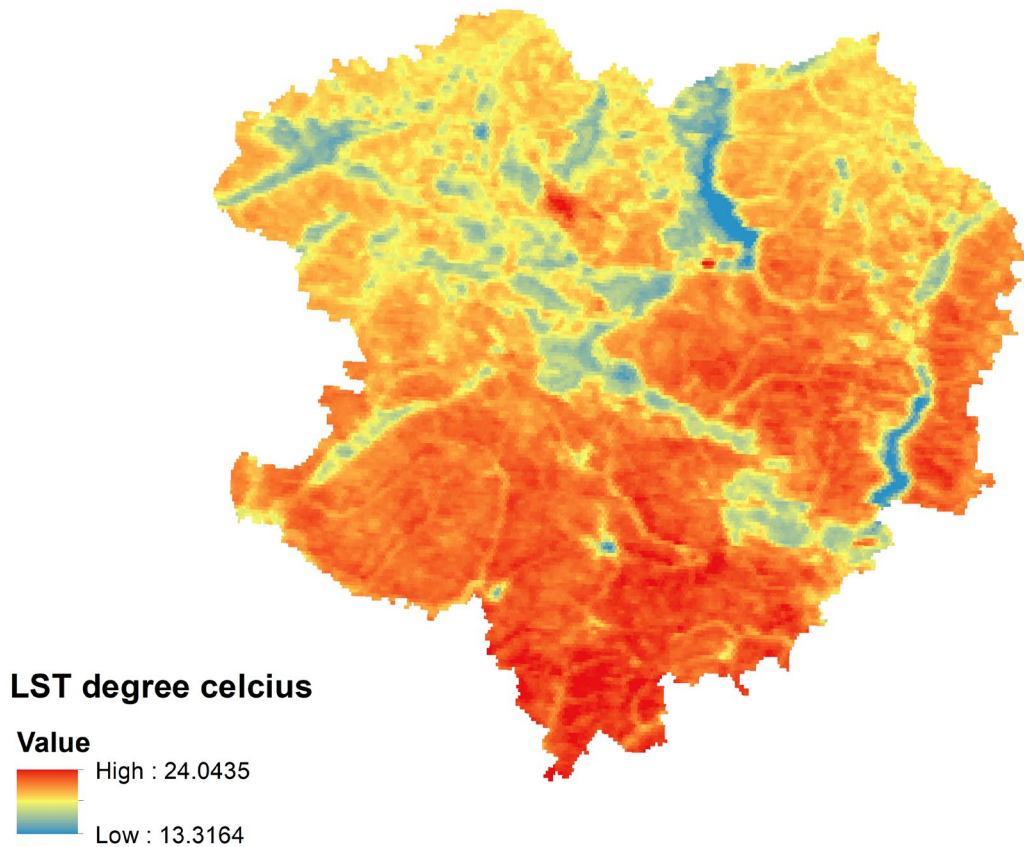


Рис.3.3. Усереднена поверхнева температура землі (LST) для Харківської області за період з 2004 по 2013 роки, подана в цельсіях

Аналогічний код було зроблено для визначення LST за період з 2014 по 2022 роки, період під час військових дій.

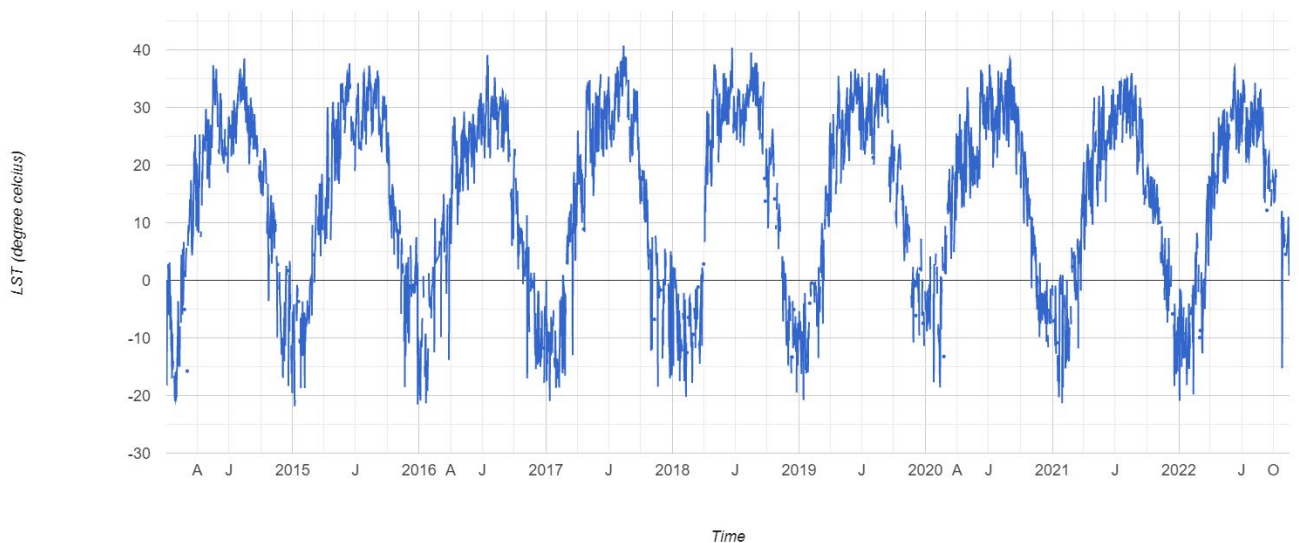


Рис.3.4. Добова LST для Харківської області за період з 2014 по 2022 роки

Зауважимо, що за цей період найнижчою була температура -21.848 це 7 січня 2015, а найвищий показник було зафіксовано +40.739 – 13 серпня 2017. По графіку видно, що в цілому LST для Харківської області за цей період має досить рівномірну тенденцію поширення, навіть варто відміти деякий напрям охолодження поверхні.

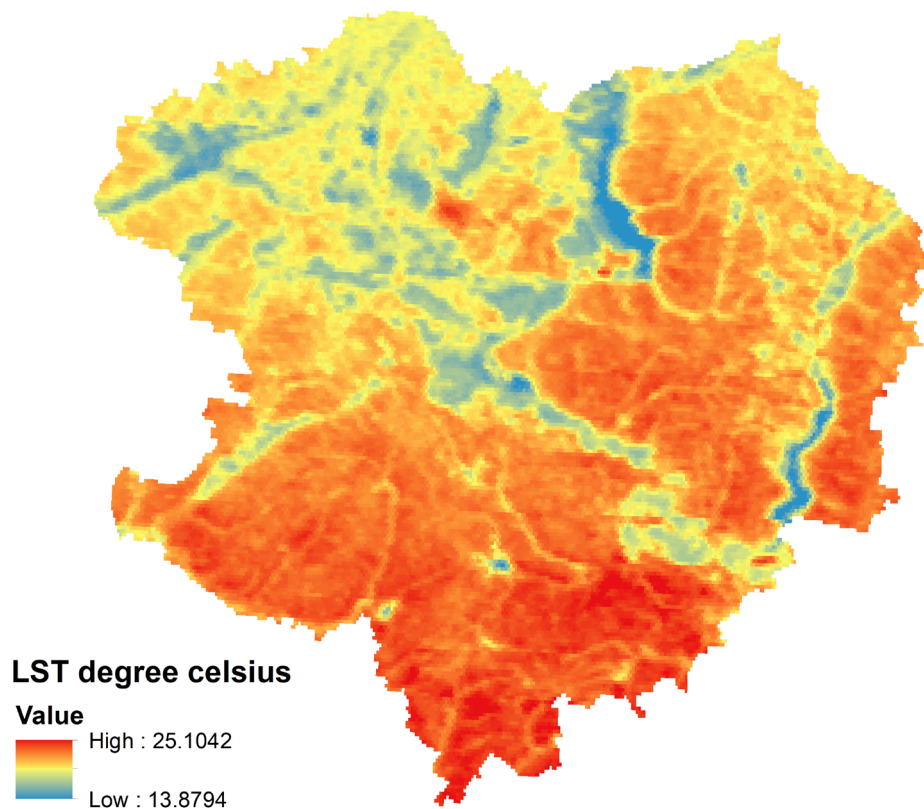


Рис.3.5. Усереднена поверхнева температура землі (LST) для Харківської області за період з 2014 по 2022 роки, подана в цельсіях

Наступним кроком є визначення поверхневої температури землі (LST) по супутниковим зображенням Landsat. Цей процес є складнішим і потребує більш ускладненого алгоритму роботи. Для початку потрібно розібратися з фізико-математичними складовими щодо обчислення LST по Landsat. Для отримання LST від багаточасових супутникових датчиків Landsat необхідні дані про такі параметри як коефіцієнт випромінювання землі, пропускну здатність атмосфери та ефективна середня температура атмосфери. Спочатку початкові смуги TIR (роздільна здатність 100 м для даних Landsat

8 OLI/TIRS, роздільна здатність 120 м для даних Landsat 5 TM) були повторно дискретизовані в 30 м центром обробки даних USGS для подальшого застосування. Значення пікселів TIR спочатку перетворюються на яскравість зі значень цифрового числа (radiance from digital number). Випромінювання для діапазону TIR даних Landsat 5 TM отримано за допомогою формули (5) (USGS):

$$L_{\lambda} = \left[\frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN}} \right] * [QCAL - QCAL_{MIN}] + L_{MIN\lambda} \quad (5)$$

Де L_{λ} це спектральна яскравість на верхніх шарах атмосфери ($Wm^{-2} sr^{-1} mm^{-1}$); $QCAL$ це квантоване значення каліброваного пікселя в сирих значеннях; $L_{MIN\lambda}$ ($Wm^{-2} sr^{-1} mm^{-1}$) це спектральна яскравість, масштабована до $QCAL_{MIN}$; $L_{MAX\lambda}$ ($Wm^{-2} sr^{-1} mm^{-1}$) це спектральна яскравість, масштабована до $QCAL_{MAX}$; $QCAL_{MIN}$ це мінімальне значення квантованого каліброваного пікселя в DN; $QCAL_{MAX}$ це максимальне квантоване значення каліброваного пікселя в DN; $L_{MIN\lambda}$, $L_{MAX\lambda}$, $QCAL_{MIN}$, and $QCAL_{MAX}$ значення отримані з файлу метаданих Landsat TM.

Випромінювання для діапазону Landsat 8 TIR розраховується за формулою (6)

$$L_{\lambda} = M_L \cdot QCAL + A_L \quad (6)$$

де L_{λ} це спектральна яскравість на верхніх шарах атмосфери ($Wm^{-2} sr^{-1} mm^{-1}$), M_L це мультиплікативний коефіцієнт перемасштабування діапазону з метаданих, A_L це специфічний для діапазону адитивний коефіцієнт зміни масштабу з метаданих, $QCAL$ квантовані та відкалібровані стандартні значення пікселів продукту (DN). Усі ці змінні можна отримати з файлу метаданих даних Landsat 8.

Для даних Landsat 5 значення відбиття отримано з використанням випромінювання згідно з формулою (7)

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (7)$$

де ρ_{λ} це безрозмірний коефіцієнт відбиття планети, L_{λ} це спектральна яскравість TOA ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), d це відстань Земля-Сонце в астрономічних одиницях, $ESUN_{\lambda}$ це середнє сонячне екзоатмосферне спектральне опромінення ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$) та θ_s це зенітний кут Сонця в градусах. $ESUN_{\lambda}$ значення для кожного діапазону Landsat 5 можна отримати з довідників відповідної місії. θ_s і d значення можна отримати з файлу метаданих.

Для даних Landsat 8 перетворення коефіцієнта відбиття можна застосувати безпосередньо до значень DN

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_p \cdot Q_{CAL} + A_p}{\sin \theta_{SE}} \quad (8)$$

де M_p є специфічним для смуги коефіцієнтом мультиплікативного масштабування з метаданих, A_p це специфічний для діапазону адитивний коефіцієнт зміни масштабу з метаданих, Q_{CAL} це квантовані та відкалібровані стандартні значення пікселів продукту (DN) і θ_{SE} локальний кут підйому Сонця, дані отримати з файлу метаданих.

Рівняння (9) використовується для перетворення спектральної яскравості в температуру яскравості, що фіксує датчик

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (9)$$

де T_b це яскравісна температура в Кельвінах (К), L_{λ} це спектральна яскравість у $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$; K_2 і K_1 це калібрувальні константи. Для даних Landsat 8, K_1 становить 774,89, K_2 становить 1321,08 ($Wm^{-2} sr^{-1}$)

мм⁻¹). Для даних Landsat 5, K1 становить 607,76, K2 становить 1260,56 (Втм⁻² ср⁻¹ мм⁻¹).

Коефіцієнт випромінювання поверхні землі ε , оцінюється за допомогою методу порогових значень NDVI. У методі порогового значення NDVI є три такі рівняння: $NDVI < 0.2$ – для відкритих ґрунтів, $NDVI > 0.5$ – для вегетуючих поверхонь, $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ – для змішаних земель з голим ґрунтом і рослинністю.

$$\varepsilon = \varepsilon_v F_v + \varepsilon_s (1 - F_v) + d\varepsilon \quad (10)$$

де ε це випромінювальна здатність земної поверхні, ε_v це випромінювальна здатність рослинності, ε_s це випромінювальна здатність ґрунту, F_v це часткова рослинність, $d\varepsilon$ це ефект геометричного розподілу природних поверхонь і внутрішніх відображень, які можна виразити через рівняння 11

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - F_v)F\varepsilon_v \quad (11)$$

де ε_v це випромінювальна здатність рослинності, ε_s це випромінювальна здатність ґрунту, F_v є часткова рослинність, F є фактором форми, середнє значення якого становить 0,55, значення $d\varepsilon$ може становити 2% для змішаних земельних поверхонь.

Фракційна рослинність F_v кожного пікселя, визначається за допомогою NDVI (12)

$$F_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^2 \quad (12)$$

where $NDVI_{\min} = 0.2$ and $NDVI_{\max} = 0.5$.

Нарешті, випромінювальна здатність земної поверхні ε можна виразити (13)

$$\varepsilon = 0.004 * F_v + 0.986 \quad (13)$$

де ε випромінювальна здатність земної поверхні, F_v часткова рослинність.

Далі розраховується вміст водяної пари (w (г/см²)) з такими параметрами, як T_0 температура приземного повітря в Кельвінах (К), RH відносна вологість (%). Також розраховується атмосферне пропускання (τ). Нарешті LST отримується з супутникових даних Landsat 5 TM і Landsat 8 OLI/TIRS за допомогою формули (14)

$$T_s = \frac{[a(1 - C - D) + (b(1 - C - D) + C + D) T_b - DT_a]}{C}$$

$$C = \varepsilon\tau$$

$$D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$$
(14)

де ε випромінювальна здатність земної поверхні, τ загальне атмосферне пропускання, C і D внутрішні параметри на основі коефіцієнта пропускання атмосфери та випромінювальної здатності земної поверхні, T_b температура яскравості датчика, T_a середня температура атмосфери, T_0 приземна температура повітря, T_c температура поверхні землі, $a = -67,355351$, $b = 0,458606$.

Обчислення LST по Landsat 8 OLI

Для обчислення LST на основі Landsat 8 OLI ми вибрали території міста Харкова та околиць. Таке рішення було прийнято тому що для обчислення LST на основі Landsat 8 OLI для всієї Харківської області передбачало обробку кожної сцени окремо і крім того деякі сцени мали замасковані теплові канали.

```
var l8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
var image = l8.filterBounds(Kharkiv).filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',
30).filterDate('2014-06-01','2014-08-30').median().clip(Kharkiv);
Map.addLayer(image, imageVisParam, 'Kharkiv');

//median (ndvi)
{
var ndvi = image.normalizedDifference(['SR_B5',
'SR_B4']).rename('NDVI');
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',
```

```

'green']});
print(ndvi,'ndvi');
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');
}
//select thermal band 10 (with brightness temperature), no calculation
var thermal = image.select('ST_B10').multiply(0.00341802).add(149.0);
var b10Params = {min: 291.918, max: 302.382, palette: ['blue',
'white', 'green']};
Map.addLayer(thermal, b10Params, 'thermal');

// find the min and max of NDVI
{
var min = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.min(),
geometry: Kharkiv,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(min, 'min');
var max = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.max(),
geometry: Kharkiv,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(max, 'max')
}
//fractional vegetation
{
var fv = ndvi.subtract(min).divide(max.subtract(min)).rename('FV');
print(fv, 'fv');
Map.addLayer(fv);
}
//Emissivity
var a= ee.Number(0.004);
var b= ee.Number(0.986);
var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('EMM');
var imageVisParam3 = {min: 0.9865619146722164, max:0.989699971371314};
Map.addLayer(EM, imageVisParam3,'EMM');

//LST in Celsius Degree bring -273.15
//NB: In Kelvin don't bring -273.15
var LST = thermal.expression(
'(Tb/(1 + (0.00115* (Tb / 1.438))*log(Ep)))-273.15', {

```

```

'Tb': thermal.select('ST_B10'),
'Ep': EM.select('EMM')
}).rename('LST');

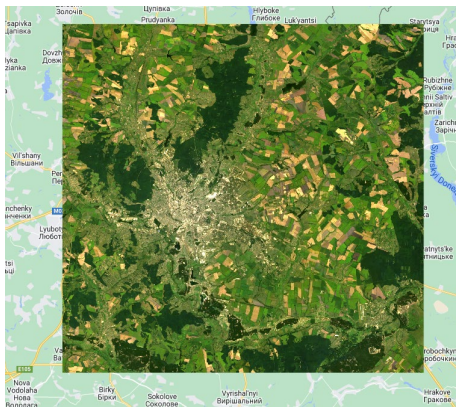
//min max LST
{
var min = ee.Number(LST.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.min(),
geometry: Kharkiv,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(min, 'minLST');

var max = ee.Number(LST.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.max(),
geometry: Kharkiv,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(max, 'maxLST')
}
Map.addLayer(LST, {min: 12.19726940544291, max:41.6701111498399, palette: [
'040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
'0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
'3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
]}, 'LST');

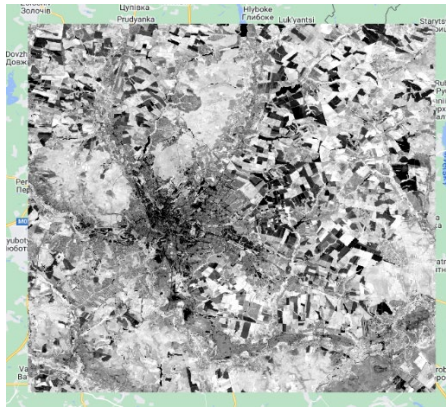
Export.image.toDrive({
image:LST,
description:'Kharkiv_LST_begin',
folder:'GEE',
region:Kharkiv,
scale: 30,
maxPixels: 1e13
})

```

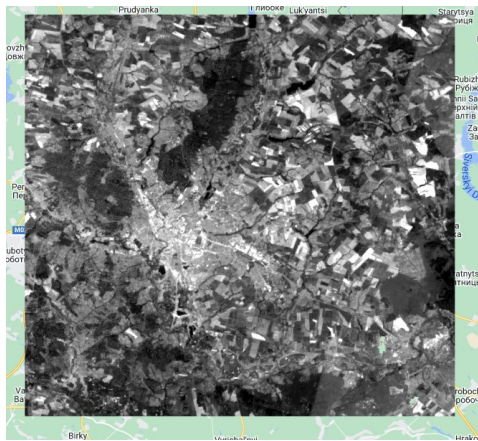
Далі наведемо фрагменти обробки території з використанням всіх складових, що описано в коді GEE (Рис.3.6.)



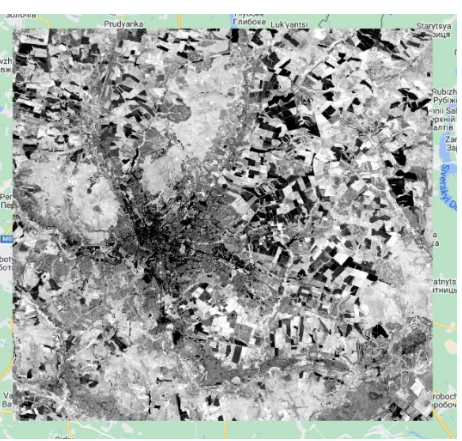
a)



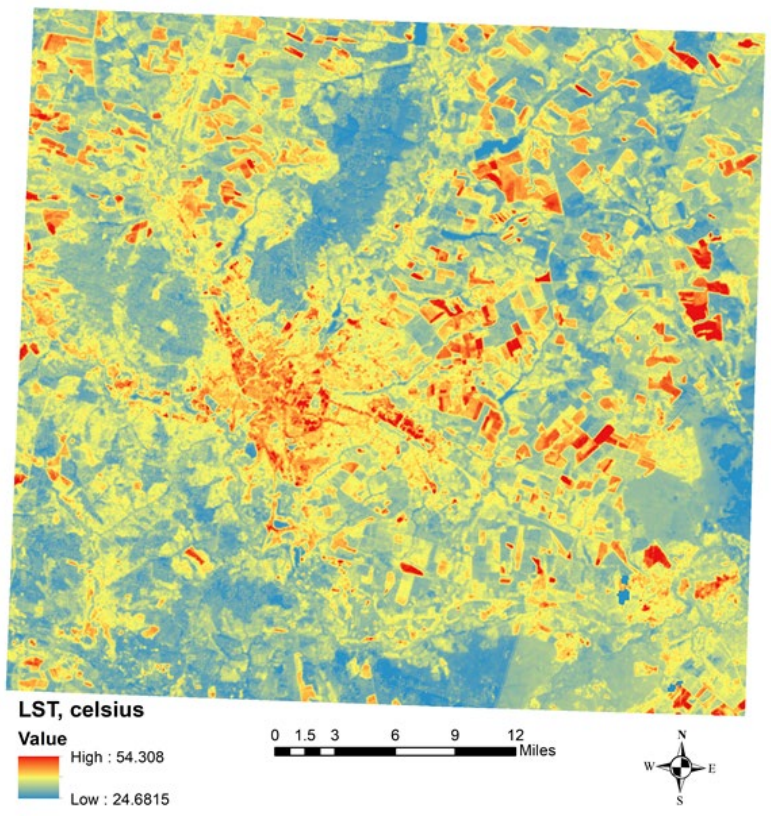
b)



c)



d)



e)

Рис. 3.6. a) Median LANDSAT/LC08/C02/T1_L2, b) Median (NDVI), c) Thermal band 10 (with brightness temperature), d) Emissivity, e) LST (01.06.2014-30.08.2014)

Далі було змінено колекцію зображень та період дослідження задля отримання LST в період до початку війни та прогресуючої урбанізації, зокрема міста Харкова. Нами було обрано літній період 2004 року. Також змінено спектральні канали для обрахунку NDVI (SR_B4 – nir, SR_B3 - red) та канал Thermal (SR_B6)

```
var l8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C02/T1_L2")  
var image = l8.filterBounds(Kharkiv).filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 10).filterDate('2004-06-01','2004-08-30').median().clip(Kharkiv);  
Map.addLayer(image, imageVisParam, 'Kharkiv');
```

Отримавши карту LST подальші завершуючі дії було зроблено в програмі ArcGIS.

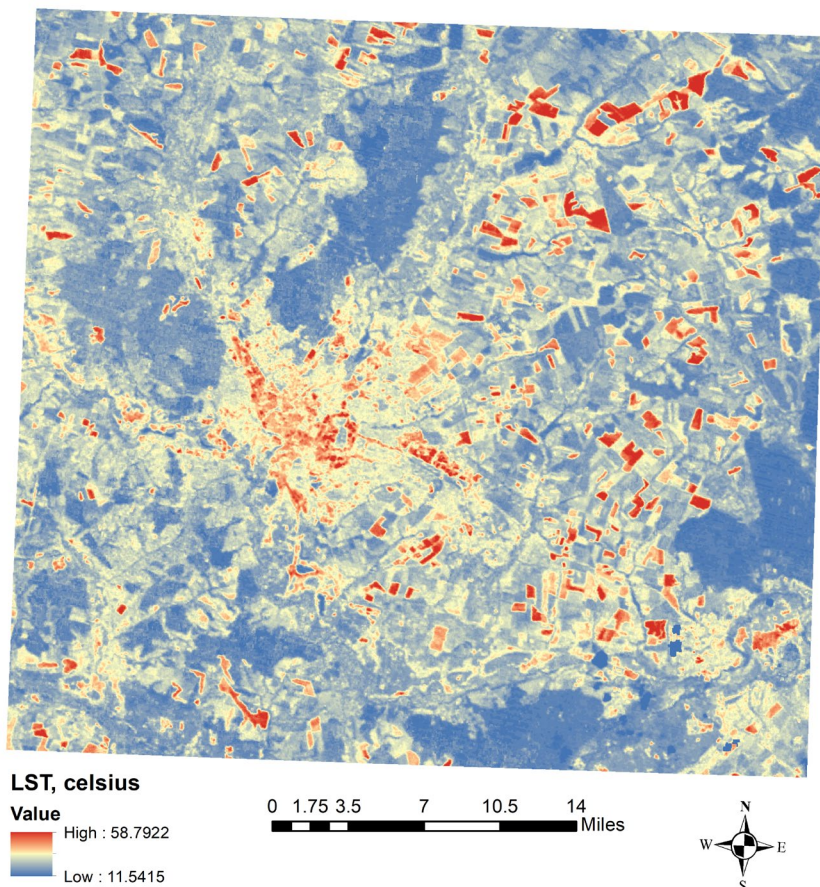


Рис.3.7. LST (01.06-30.08.2004) по колекції LANDSAT/LT05/C02/T1_L2

Далі було змінено колекцію зображень та період дослідження задля отримання LST в період під час війни, зокрема міста Харкова. Нами було обрано літній період 2022 року.

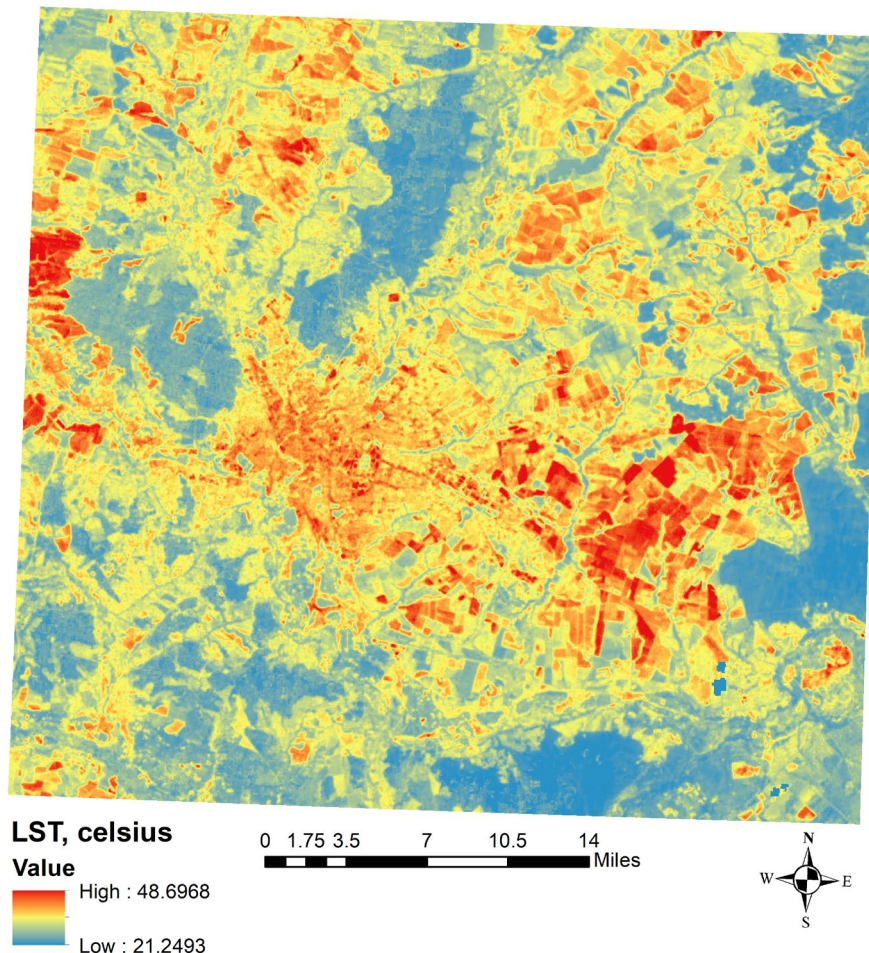


Рис.3.8. LST (01.06-30.08.2022) по колекції LANDSAT/LC08/C02/T1_L2

З побудованих карт LST видно, що мінімальні та максимальні показники міняються з роками. Таким чином видно, що з 2004 по 2022 рік максимальні показники LST зменшуються - 10.1 градуси, а мінімальні значення істотно збільшуються – 9.7 градуси. Відповідно до побудованих земельний покрив характеризується різною інтенсивністю температури. Видно, що забудовані землі виділяються у насичених червоних кольорах (з вищим показником LST), в той час як вегетуючі площі мають синьо-сіре забарвлення з нижчим показником LST (Рис.3.6-3.8).

3.2 Встановлення взаємозв'язку між поверхневою температурою землі (LST) та типами земельного покриття на основі NDVI

NDVI є домінуючим фактором у процесах обчислення LST і незмінно використовується в будь-якому дослідженні, пов'язаному з LST [5,11,12,14,19,23]. NDVI безпосередньо використовується у визначенні випромінювальної здатності земної поверхні і, таким чином, є значущим фактором для оцінки LST [19,35]. Він також визначає категорії LULC за його оптимальними пороговими межами в різних фізичних середовищах [14]. Будучи індексом рослинності, NDVI значною мірою залежить від сезонних коливань [12]. Отже, LST також регулюється зміною пір року. Таким чином, сезонна оцінка LST і NDVI є важливим завданням у картографуванні та моніторингу LST, особливо в міському ландшафті. Як правило, у тропічному середовищі співвідношення LST-NDVI є негативним, і негативність зв'язку визначається зміною типу LULC з часом. Таким чином, просторові та часові зміни цього співвідношення спостерігаються на різних типах LULC. Окрім просторових і часових змін, сезонні зміни співвідношення LST-NDVI є дуже важливим дослідженням на будь-якій змішаній міській поверхні. Деякі дослідження виявили, що LST створює негативний зв'язок із NDVI, і цей негатив може змінюватися з сезоном. Вологий сезон відображає сильнішу негативну кореляцію, ніж сухий сезон, оскільки вміст вологи більший у вологий сезон [18]. Це співвідношення також може змінюватися зі зміною типів поверхні суші. Поверхня рослинності створює сильну кореляцію, і сила знижується на поверхні оголеної землі, забудованій поверхні та поверхні води.

У цьому дослідженні розраховано LST і NDVI з наборів даних Landsat. Карта LULC була отримана за відповідними пороговими значеннями NDVI. NDVI може виділити різні типи LULC, використовуючи оптимальні порогові значення [11,13,28,29,31]. Ці порогові значення можуть відрізнятися залежно від відмінностей у фізичному середовищі.

Порогові межі NDVI були застосовані до зображень в літній безхмарний період, щоб точно виділити різні типи LULC. Таким чином представлені відповідні порогові межі NDVI, що використовуються для вилучення рослинності ($> 0,2$), водойм (< 0), забудованої території/голої землі ($0-0,2$) на території дослідження.

Перед тим як будувати карти NDVI ми вилучили типи LULC для Харківської області з продукту ESA/WorldCover/v100. Продукт Європейського космічного агентства (ESA) **WorldCover 10 m 2020** надає глобальну карту земного покриття на 2020 рік з роздільною здатністю 10 метрів на основі даних Sentinel-1 і Sentinel-2. Продукт WorldCover містить 11 класів наземного покриття та був створений у рамках проекту ESA WorldCover, що є частиною 5-ї Програми огляду Землі (EOEP-5) Європейського космічного агентства.












Value	Color	Color Value	Description
10		#006400	Tree cover
20		#ffff4c	Shrubland
30		#ffff4c	Grassland
40		#f096ff	Cropland
50		#fa0000	Built-up
60		#b4b4b4	Bare / sparse vegetation
70		#f0f0f0	Snow and ice
80		#0064c8	Permanent water bodies
90		#0096a0	Herbaceous wetland
95		#00cf75	Mangroves
100		#fae6a0	Moss and lichen

Рис.3.9. Класи LULC відповідно до продукту ESA/WorldCover/v100

```
var city = table.filter(ee.Filter.eq('NAME_1','Kharkiv'));
var dataset = ee.ImageCollection("ESA/WorldCover/v100").first().clip(city);
var visualization = {
bands: ['Map'],
};
Map.centerObject(dataset);
Map.addLayer(dataset, visualization, "Landcover");
```

```

var cropland = dataset.eq(80)
Map.addLayer(cropland , {min: 0 , max:1 , palette:['grey','blue']})
var areaImage = cropland.multiply(ee.Image.pixelArea())
var area = areaImage.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.sum(),
geometry: roi,
scale: 1000,
maxPixels: 1e13})
print(area)
var cropland_sq_KM = ee.Number(area.get('Map')).divide(1e6).round()
print(cropland_sq_KM)
// Calculated all classes area at a same time
var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(dataset)
var area = areaImage.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.sum().group({
groupField:1 ,
groupName:'class'}),
geometry: city,
scale: 1000,
maxPixels: 1e13})
print(area)
// Nested List , I want to convert as a Flat list
// 10 : 135894
// 30 : 8155
// 40 : 3555
var classAreas = ee.List(area.get('groups'))
var classAreaList = classAreas.map(function(item){
var areaDict = ee.Dictionary(item)
var classNumber = ee.Number(areaDict.get('class')).format()
var area = ee.Number(areaDict.get('sum')).divide(1e6).round()
return ee.List([classNumber , area])
})
var result = ee.Dictionary(classAreaList.flatten())
print(result)
Export.image.toDrive({
image:dataset ,
description:'city_LULC',
folder:'GEE',
region: city,
scale: 10,
maxPixels: 1e13
})

```

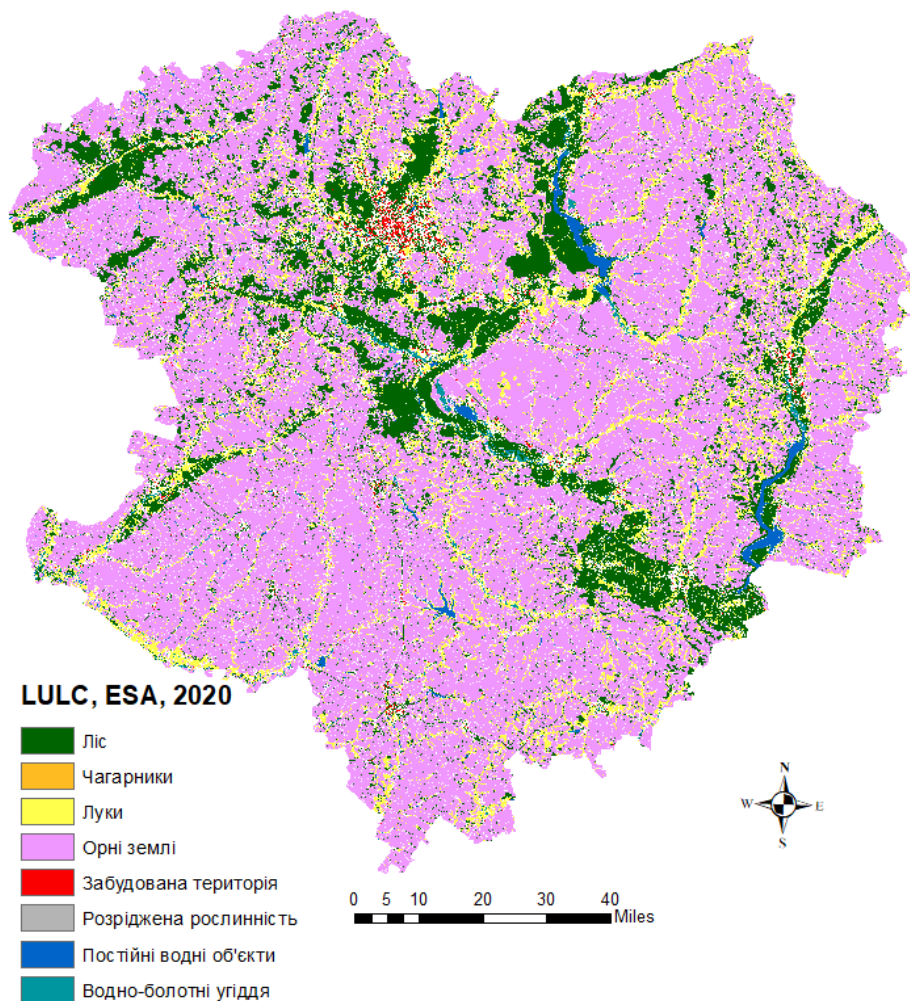


Рис.3.10. Класифікація LULC відповідно до продукту ESA/WorldCover/v100 для Харківської області станом на 2020 рік

Відповідно до рис.3.10 територія Харківської області переважно зайнята орними угіддями. Чітко можна відстежити площі зайняті лісами, можливо їх можна ідентифікувати як парки з густою рослинністю особливо поблизу населених пунктів зокрема міста Харків. Рівномірно по території області розприділяються луки та чагарники. Також на території області чітко дешифруються постійні водні об'єкти. Головний осередок забудованої території спостерігається локаційно на півночі - це місто Харків. При збільшенні масштабу карти чітко ідентифікуються водно-болотні угіддя та розріджена рослинність. Загалом видно, що територія Харківської області зберігає екологічно доцільне використання та не є критично урбанізованою.

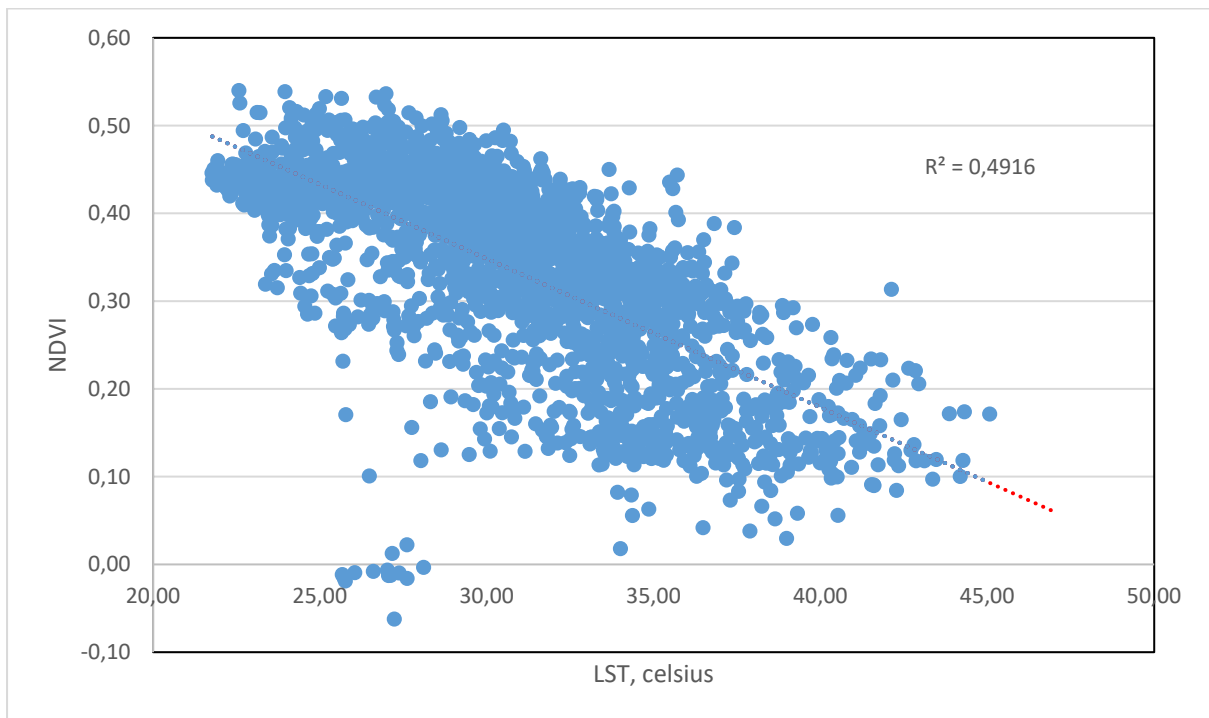


Рис.3.11. Лінійна залежність (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0.4916$) між NDVI and LST для міста Харків та околиць, за період з 01.06 – 30.08. 2022 року.
Landsat 8 OLI

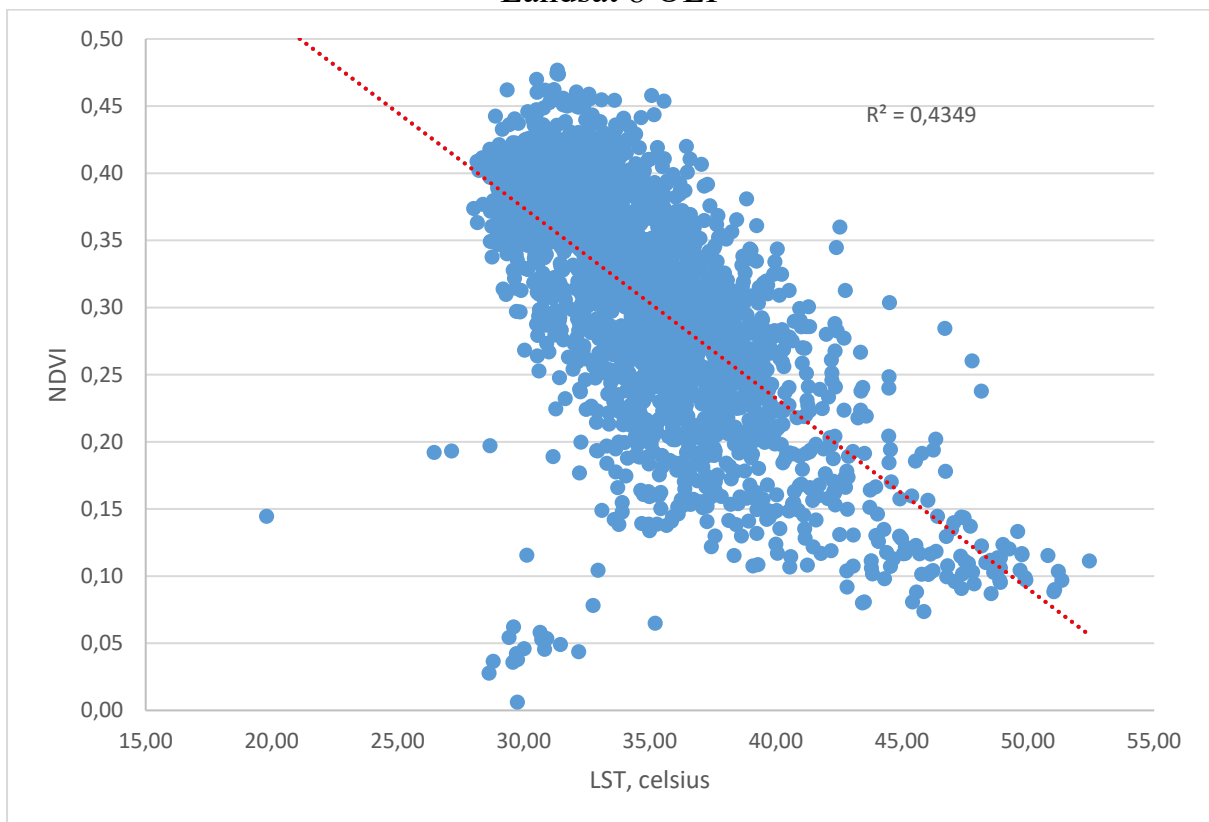


Рис.3.12. Лінійна залежність (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0.4349$) між NDVI and LST для міста Харків та околиць, за період з 01.06 – 30.08. 2004 року.
Landsat 5 TM

LST досліджуваної території значною мірою залежить від типів LULC. Фактично, цей метод випромінювання на основі порогу NDVI не підходить для вилучення LST водних тіл. Однак поточні результати показують, що територія із зеленою рослинністю має низьке значення LST. Забудована територія та оголений ґрунт мають низький NDVI і високий LST через непроничні поверхні. Зелені зони та акваторії характеризуються відносно стабільним діапазоном LST. Загалом результати показали, що LST обернено пропорційний NDVI. Багато авторів публікують результати про негативну кореляцію між LST та NDVI для літнього сезону, тоді як зимовий сезон має позитивну кореляцію для того самого року. Оскільки зображення нашої досліджуваної території зроблено за літній сезон, це може бути однією з основних причин негативної кореляції між LST та NDVI у різних класах земель.

На LST у досліджуваній території впливає кілька факторів, таких як охолоджуючий ефект випаровування, шорсткість поверхні, альbedo та сонячна радіація. Наприклад, рослинність і водойми мають нижчу LST, ніж забудовані території через охолоджуючий ефект випаровування. Дякі автори виявили, що LST змінюється на 1 °C залежно від нахилу та аспекту через різницю в сонячному випромінюванні, отриманому типами LULC. На LST також впливає шорсткість поверхні та альbedo, оскільки забудовані території мають меншу шорсткість і низьке альbedo, ніж рослинність, тому мають високий LST. Вплив напрямку схилу на середній LST може бути різним, оскільки сонячне випромінювання, отримане землею, змінюється в різних напрямках схилу, що призводить до різниці в LST. LST також змінюється залежно від висоти та типів LULC.

ВИСНОВКИ

1. Зроблено аналіз сучасних методів та засобів для визначення поверхневої температури землі (LST) й параметрів земельного покритву. Досліджено фізичні основи визначення LST. Підтверджено, що визначення LST надає інформацію про часові та просторові варіації рівноважного стану поверхні та має фундаментальне значення для території з прогресуючою урбанізацією. Визначено, що використання супутникових зображень Landsat and Modis найкраще підходять для поточного дослідження у зв'язку з доступністю та наявністю різночасових даних та готових продуктів.

2. Обчислено LST для території Харківської області на основі продукту MOD11A1.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km (Google Earth Engine) за період з 2004 по 2022 роки. Визначено, що за період з 2004 по 2013 рік, LST має тенденцію до збільшення, тобто йде нагрівання поверхні. За період з 2014 по 2022 рік LST є досить рівномірною, варто відміти деякий напрям охолодження поверхні.

3. Обчислено LST по Landsat 5 and Landsat 8 OLI для території міста Харків та околиць за період з 2004 по 2022 роки. Визначено, що з 2004 по 2022 рік максимальні показники LST зменшуються ($- 10.1$ °C), а мінімальні значення істотно збільшуються ($- 9.7$ °C). Класи земельного покритву характеризується різною інтенсивністю температури. Забудовані землі виділяються у насичених червоних кольорах (з вищим показником LST), в той час як вегетуючі площі мають синьо-сіре забарвлення з нижчим показником LST.

4. Побудовано карту типів LULC для Харківської області з продукту ESA/WorldCover/v100 (10 m) на основі даних Sentinel-1 і Sentinel-2 за період 2020 року, для розуміння сучасного просторового розподілення видів земельного покритву.

5. Встановлено лінійну кореляційну залежність між NDVI and LST для міста Харків та околиць, за період з 01.06 – 30.08. 2004 року

(коефіцієнт кореляції $R^2= 0.4349$) та період з 01.06 – 30.08. 2022 (коефіцієнт кореляції $R^2= 0.4916$). Отримані результати свідчать, що територія із зеленою рослинністю має низьке значення LST, тоді як забудовані площі та відкриті ґрунти мають низький NDVI і високу LST через непроникні поверхні. Акваторії характеризуються відносно стабільним діапазоном LST.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C.: (2005). Global consequences of land use. *Science* 309:570–574. <https://doi.org/10.1126/science.11117>
2. Fu P., Weng Q.: (2016). A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with landsat imagery. *Remote Sens Environ* 175:205–214. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.040>
3. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X., Briggs J.M., Grimm N.: (2008). Global change and the ecology of cities. *Science* 319:756–760. <https://doi.org/10.1126/science.115019>
4. Liu H., Zhan Q., Yang C., Wang J.: (2018). Characterizing the spatio-temporal pattern of land surface temperature through time series clustering: based on the latent pattern and morphology. *Remote Sens* 10:654. <https://doi.org/10.3390/rs10040654>
5. Liu Y., Peng J., Wang Y.: (2018). Efficiency of landscape metrics characterizing urban land surface temperature. *Landsc Urban Plan* 180:36–53. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.006>
6. Peng J., Ma J., Liu Q., Liu Y., Hu Y., Li Y., Yue Y.: (2018). Spatial-temporal change of land surface temperature across 285 cities in China: an urban-rural contrast perspective. *Sci Total Environ* 635:487–497. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.105>
7. Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley J.A.: (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nat Cell Boil* 438:310–317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
8. Huang S., Taniguchi M., Yamano M., Wang C.H.: (2009). Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment—a case study of Osaka. *Sci Total Environ* 407:3142–3152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.019>.

9. Zhou D., Xiao J., Bonafoni S., Berger C., Deilami K., Zhou Y., Frolking S., Yao R., Qiao Z., Sobrino J.A.: (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. *Remote Sens* 11:48. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>
10. Guha S., Govil H., Dey A., Gill N.: (2020). A case study on the relationship between land surface temperature and land surface indices in Raipur City, India. *Geogr Tidsskr.* <https://doi.org/10.1080/00167223.2020.1752272>
11. Govil H., Guha S., Diwan P., Gill N., Dey A.: (2020). Analyzing linear relationships of LST with NDVI and MNDISI using various resolution levels of landsat 8 OLI and TIRS data. In: Sharma N, Chakrabarti A, Balas V (eds) *Data management, analytics and innovation. Advances in intelligent systems and computing*, vol 1042. Springer, Singapore, pp 171–184. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9949-8_13
12. Guha S., Govil H.: (2020). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index. *Environ Dev Sustain.* <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6>
13. Li Z., Tang B., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I., Sobrino J.: (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives, *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
14. Clinton N., Gong P.: Modis detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. *Remote Sens. Environ.* 2013, 134, 294–304. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.008>
15. Li X., Zhou Y., Asrar G.R., Imhoff M., Li X.: The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Sci. Total Environ.* 2017, 605, 426–435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229>
16. Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Oettle C., Breon F.-M., Nan H., Zhou L., Myneni R.B.: Surface urban heat island across 419 global big

cities. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 696–703.
<https://doi.org/10.1021/es2030438>

17. Zhou B., Rybski D., Kropp J.P.: The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Sci. Rep.* 2017, 7, 4791.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>

18. Zhou D., Zhao S., Liu S., Zhang L., Zhu C.: Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. *Remote Sens. Environ.* 2014, 152, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017>

19. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C.: A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. *J. Environ. Sci.* 2008, 20, 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)

20. Arnfield A.J.: Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int. J. Clim.* 2003, 23, 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>

21. Gallo K.P., McNab A.L., Karl T.R., Brown J.F., Hood J.J., Tarpley J.D.: The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *Int. J. Remote Sens.* 1993, 14, 2223–2230.
<https://doi.org/10.1080/01431169308954031>

22. Weng Q., Larson R.C.: Satellite remote sensing of urban heat islands: Current practice and prospects. In *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*; Jensen, R.R., Gatrell, J.D., McLean, D.D., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005; pp. 91–111. https://doi.org/10.1007/3-540-26676-3_10

23. Mohamed A.A., Odindi J., Mutanga O.: Land surface temperature and emissivity estimation for urban heat island assessment using medium- and low-resolution space-borne sensors: A review. *Geocarto Int.* 2017, 32, 455–470.

24. Chen F., Yang S., Yin K., Chan P.: Challenges to quantitative applications of Landsat observations for the urban thermal environment. *J. Environ. Sci.* 2017, 59, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.02.009>

25. Young N.E., Anderson R.S., Chignell S.M., Vorster A.G., Lawrence R., Evangelista P.H.: A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology* 2017, 98, 920–932. <https://doi.org/10.1002/ecy.1730>
26. Wulder M.A., White J.C., Loveland T.R., Woodcock C.E., Belward A.S., Cohen W.B., Fosnight E.A., Shaw J., Masek J.G., Roy D.P.: The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sens. Environ.* 2016, 185, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.032>
27. Malakar N.K., Hulley G.C., Hook S.J., Laraby K., Cook M., Schott J.R.: An operational land surface temperature product for Landsat thermal data: Methodology and validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2018, 56, 5717–5735. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828>
28. Wan Z., Zhang Y., Wang R., Li Z.: Early Land-Surface Temperature Product Retrieved from MODIS Data, IGARSS 2001. Available online: <https://bit.ly/2V3SIIY>.
29. Wan Z., Dozier J.: A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1996, 34, 892–905.
30. Hulley G., Veraverbeke S., Hook S.: Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21). *Remote Sens. Environ.* 2014, 140, 755–765. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.014>
31. Zhang Y., Murray A.T., Turner B.L.: Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. *Landsc. Urban Plan.* 2017, 165, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>
32. Zheng B., Myint S.W., Fan C.: Spatial configuration of anthropogenic land cover impacts on urban warming. *Landsc. Urban Plan.* 2014, 130, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.001>

33. Feng X., Myint S.W.: Exploring the effect of neighboring land cover pattern on land surface temperature of central building objects. *Build. Environ.* 2016, 95, 346–354. <https://doi.org/10.3390/land11040544>
34. Fan C., Myint S.W., Zheng, B.: Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* 2015, 39, 199–219. <https://doi.org/10.1177/0309133314567583>
35. Morabito M., Crisci A., Georgiadis T., Orlandini S., Munafo M., Congedo L., Rota P., Zazzi M.: Urban imperviousness effects on summer surface temperatures nearby residential buildings in different urban zones of Parma. *Remote Sens.* 2018, 10, 26. <https://doi.org/10.3390/rs10010026>
36. Abrams M., Tsu H., Hulley G., Iwao K., Pieri D., Cudahy T., Kargel J.: The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) after fifteen years: Review of global products. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2015, 38, 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.013>
37. Song Y., Wu C.: Examining the impact of urban biophysical composition and neighboring environment on surface urban heat island effect. *Adv. Space Res.* 2016, 57, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.036>
38. <https://www.mediaport.ua/minregion-proponuie-rozdiliti-harkivshchinu-na-chotiri-rayoni>
39. Екологічний паспорт Харківської області станом 2021 рік (розроблено у 2022 році). https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1182/118158/Attaches/ekologichny_pasport_harkivskoyi_oblast_za_2021_rik.pdf
40. Звіт про стратегічну екологічну оцінку документу державного планування проекту програми економічного і соціального розвитку Харківської області станом на 2022 рік. <https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1133/113251/files.pdf>

41. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТА ОХОРОНА ҐРУНТІВ ХАРКІВЩИНИ. <https://vseosvita.ua/library/embed/0100f3q6-24e2.docx.html>

42. Дані про клімат, температуру та атмосферні опади у місті Харків. <http://hikersbay.com/climate-conditions/ukraine/kharkiv/klimatichni-umovi-v-kharkiv.html?lang=ua>

43. Проєкт Стратегії розвитку Харківської області на 2021-2027 роки. <https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1026/102538/files.pdf>

44. ЗВІТ ПРО СТРАТЕГІЧНУ ЕКОЛОГІЧНУ ОЦІНКУ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА 2021-2027 РОКИ І ПЛАНУ ЗАХОДІВ НА 2021-2023 РОКИ З РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА 2021-2027 РОКИ. <https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1021/102038/files.pdf>

45. ДОПОВІДЬ ПРО СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ у 2020 РОЦІ. https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1124/112360/Attaches/dopovid_p_ro_stan_nps_u_harkivskiy_oblasti_v_2020_rotsi.pdf?sv.

46. Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін. https://geography.lnu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/02/Urban_Ukraine.pdf

47. Стратегія розвитку Харківської області на період до 2020 року. file:///Z:/win7_settings/UserDesktop/Liliia_SPRI/new-563_SRR2020.pdf

Додатки